

A01

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2004-349262
(P2004-349262A)

(43) 公開日 平成16年12月9日(2004.12.9)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO1M 8/02	HO1M 8/02	5HO26
HO1M 8/12	HO1M 8/12	
HO1M 8/24	HO1M 8/24	E

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2004-152706 (P2004-152706)	(71) 出願人	599078705 シーメンス ウェスチングハウス パワー コーポレーション SIEMENS WESTINGHOUS E POWER CORPORATION アメリカ合衆国 フロリダ州 32826 -2399 オーランド エムシー301 アラファヤ・トレイル 4400
(22) 出願日	平成16年5月24日 (2004. 5. 24)	(74) 代理人	100088454 弁理士 加藤 絃一郎
(31) 優先権主張番号	10/444623	(72) 発明者	アンジェラ ブロンソン アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15 219 ビッツバーグ フォーブス・アベ ニュー 1729
(32) 優先日	平成15年5月23日 (2003. 5. 23)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発泡ニッケルと展伸ニッケルスクリーンとを組み合わせた固体酸化物電解質燃料電池用の電気コネクタ兼支持体

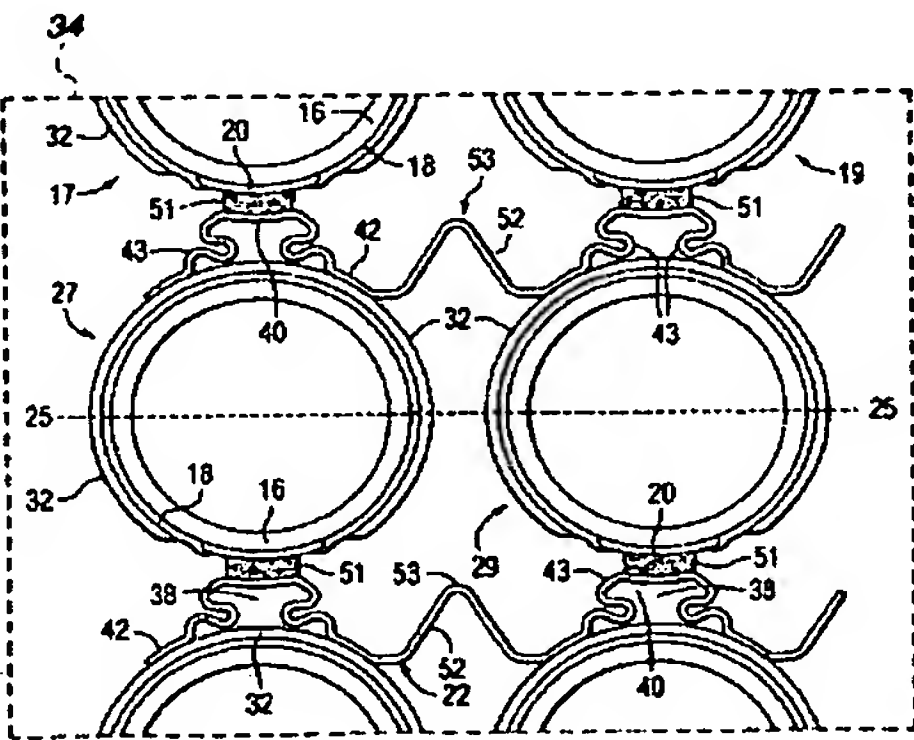
(57) 【要約】

【課題】 燃料電池間に金属フェルトが存在しない固体酸化物燃料電池組立体を提供する。

【解決手段】

各々が外側相互接続部 (20) 及び外側電極 (32) を有する燃料電池 (17、19、21、27、29、31) の列 (14、25) を、各列の間に波形の導電性展伸金属メッシュ (22) が介在するように隣り合わせて配置する。波形メッシュ (22) は最頂部と下方の肩部とを有し、最頂部 (40) には燃料電池の外側相互接続部 (20) と接触し頂面が接着された連続気泡発泡ニッケル (51) が設けられ、メッシュと発泡ニッケルとが燃料電池の各列を電氣的に接続する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

各々が外側相互接続部（20）及び外側電極（33）を有する燃料電池をそれらの列の間に導電性金属の波形メッシュを介在させて隣接配置した固体酸化物燃料電池組立体（34）であって、波形メッシュは最頂部（40）と下方の肩部（42）とを有し、最頂部と第1列の燃料電池の外側相互接続部との間には可撓性の連続気泡発泡ニッケル（51）が両者と接触するように配置され、メッシュの肩部（42）は第2列の燃料電池の外側電極（32）と直接に接触し、発泡ニッケル及びメッシュは燃料電池の各列に電氣的に接続され、メッシュは1つの列の電池間に位置する単一の最頂部分（52）を有し、燃料電池の間には金属フェルトの接続部が存在しない固体酸化物燃料電池組立体。

10

【請求項 2】

燃料電池の束を構成する請求項1の固体酸化物燃料電池組立体（34）であって、各電池束は、

（1）各々が外側電極（32）及び外側相互接続部（20）を有し、互いに離隔して軸方向に長い管状燃料電池の第1列と、

（2）各々が外側電極（32）及び外側相互接続部（20）を有し、互いに離隔して軸方向に長い管状燃料電池の第2列であって、第1列から離隔し、第1列の燃料電池の全ての外側相互接続部が第2列の燃料電池の全ての外側電極に対向する第2列と、

（3）第1列と第2列の燃料電池間を延びてそれらと接触する、燃料電池の導電性コネクタ兼支持体とより成り、コネクタ兼支持体は気孔率が約60%以上で、厚さが0.012cm乃至0.076cmの展伸メッシュより成り、コネクタ兼支持体は下方の肩部（42）に連結する一連の最頂部（40）を有する波形構造を有し、肩部はそれらが接触する管状燃料電池の形状に合致し、各肩部（42）は隣接する肩部（42）に連結し、可撓性連続気泡発泡ニッケル（51）は最頂部と第1列の燃料電池の相互接続部との間に位置して両者に接触し、全てのコネクタ兼支持体の肩部は第2列の燃料電池の外側電極に直接に接触し、メッシュは1つの列の燃料電池間に頂部がある単一の波形部分（52）を備えており、燃料電池間には金属フェルトの接続部が存在しない固体酸化物燃料電池組立体（34）。

20

【請求項 3】

金属メッシュはニッケルより成る請求項1の固体酸化物燃料電池組立体（34）。

30

【請求項 4】

金属メッシュは気孔率が65%乃至85%であり、燃料電池へ伝達される力が小さくするばねのような効果を有する請求項1の固体酸化物燃料電池組立体（34）。

【請求項 5】

金属メッシュの厚さは0.012cm乃至0.076cmである請求項1の固体酸化物燃料電池組立体（34）。

【請求項 6】

発泡ニッケル（51）は網目構造を有し、直線1インチ当たり約75個乃至105個の気孔があり、金属メッシュ及び発泡ニッケル（51）は最高1200℃の温度で長期間動作させても収縮または崩壊しない請求項1の固体酸化物燃料電池組立体（34）。

40

【請求項 7】

各組立体は下方及び上方の束を含む燃料電池束より成り、各束間の接続部では、各束のコネクタ兼支持体が隣接する束のコネクタ兼支持体と接触し、隣接するメッシュの単一の波形部分と、対向する波形部分とが可撓性連続気泡発泡ニッケルが充填される空所（70）を形成し、空所（70）内の発泡材は束間の電氣的接続を改善する請求項2の燃料電池組立体（34）。

【請求項 8】

発泡ニッケル（51）は網目構造を有し、直線1インチ当たり約75乃至105個の気孔がある請求項7の固体酸化物燃料電池組立体（34）。

【請求項 9】

50

コネクタ兼支持体とそれに取り付けられる発泡ニッケル（５１）とは最高１２００℃の温度で長期間動作させても収縮または崩壊しない請求項７の固体酸化物燃料電池組立体（３４）。

【請求項１０】

固体酸化物燃料電池組立体の製造方法であって、

（１）各々が外側電極及び外側相互接続部を有し、互いに離隔し、軸方向に長い管状燃料電池の第１及び第２列であって、第２列が第１列から離隔し、第１列の燃料電池の全ての外側相互接続部が第２列の燃料電池の全ての外側電極に対向する第１及び第２列の燃料電池を用意し（１００）、

（２）気孔率が約６０％以上であり、厚さが０．０１２ｃｍ乃至０．０７６ｃｍの展伸ニッケルメッシュの平らなシートを用意し（１０２）、

（３）一連の最頂部が下方の肩部に連結し、肩部の間のメッシュが単一の上向き波形部分を有し、少なくとも肩部が第１及び第２列の管状燃料電池の形状に合致する波形構造の可撓性のコネクタ兼支持体を構成するように、平らな展伸ニッケルメッシュのシートを成形し（１０６）、

（４）波形ニッケルメッシュのコネクタ兼支持体の最頂部及び肩部が覆われるようにニッケル粉末を混合した有機接着剤を適用（１０８）し、

（５）コネクタ兼支持体の最頂部が覆われるように可撓性連続気泡発泡ニッケルの延伸部材を接着剤の上に配置し（１１０）し、

（６）ニッケル粉末を混合した有機接着剤を可撓性連続気泡発泡ニッケルの延伸部材に適用し（１１２）、

（７）波形のコネクタ兼支持体を、その上の発泡ニッケルの上と、燃料電池の第１列と第２列との間の肩部の上とに接着剤が位置し、コネクタ兼支持体の最頂部上の全ての発泡ニッケル延伸部材が第１列の燃料電池の相互接続部と接触して接着し、コネクタ兼支持体の全ての肩部が第２列の燃料電池の外側電極と接触して接着するように配置し（１１４）

、（８）高温空気を多孔性のコネクタ兼支持体に通すことにより接着剤を乾燥させ（１１６）、

（９）燃料電池組立体を焼結（１１８）して、接着剤の有機部分を気化させ、一体的な燃料電池組立体を形成するステップより成る製造方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

【技術分野】

【０００２】

本発明は、燃料電池発電装置の管状固体酸化物電解質燃料電池のための安価で、高強度を有し、可撓性で、薄い改良型電気コネクタ兼支持体に関する。

【従来技術の説明】

【０００３】

固体酸化物燃料電池のニッケル被覆相互接続部への正方形ピッチの直並列接続用ニッケルフェルトは周知であり、米国特許第４，４９０，４４４号（発明者：Isenberg）及び第４，８３３，０４５号（発明者：Reichner）に記載されている。燃料電池発電装置の主要な集電バスへのそれらの接続も、米国特許第４，６４８，９４５号（発明者：Isenberg）に記載されている。使用される燃料電池は通常、約３００度にわたって固体電解質の薄膜により覆われた自己支持型空気電極を含んでいる。従って、幅６０度で燃料電池の長さ方向に延びる軸方向延伸部分が存在する。空気電極表面のこの残りの６０度の部分は、通常はニッケルメッキを施した亜クロム酸ランタンである相互接続用延伸部分により覆われている。最上層としての燃料電極は、電解質表面の約２８０度にわたり固体電解質を覆っている。

【0004】

これらの円筒状電池は通常、正方形ピッチの直並列接続アレイを形成するように配置されるが、1つの電池の空気電極と直列接続の隣接電池の燃料電極とは、メッキを施した相互接続用延伸部分と、厚さが約0.1インチ(0.25cm)で気孔率が80%乃至95%の焼結ニッケルのフェルトの延伸部材とにより接続される。他のニッケルフェルトにより、隣接する電池の燃料電極間の並列接続が行われる。直列経路は、実用的な直流スタック電圧を発生する上で絶対に必要なものである。並列接続部は、電流が開路状態の不良電池を迂回して流れるようにする経路を提供する。燃料は電池群間の通路を軸方向に流れる。これは、長年の間、管状燃料電池の設計の1つとされてきた。

【0005】

この設計では、固体酸化物燃料電池発電装置を構成する一次的な副組立体を、「電池束」と呼ぶ。通常、電池束は8×3の行列を形成する24個の電池を含む。8個の電池が直列接続されて、3列より成る束のうちの1つの列を形成する。1つの列の各電池を次の列の隣接電池を接続することにより、3つの列が並列接続される。1つの列の1つの電池のニッケルメッキ相互接続用延伸部分と、次の電池のニッケル燃料電極との間では、現在は、2つの電池が矩形断面(約10mm×14mm)のニッケルフェルトにより直列接続されている。現在、並列接続もまた、同様なフェルト延伸部材により行われている。この場合、それらのフェルトは隣接する電池の燃料電極を接続する。1つの電池の長さ方向において、長さ約185mmの8個のフェルトにより直接接続が行われ、長さ185mmの4個のフェルトにより並列接続が行われる。1つの束で合計280個のフェルト延伸部材が使用される。この電気接続手段は有効であるが、材料コストが高く、労働集約的である。さらに、この構成は余り自動化に適しているとはいえない。

【0006】

この標準型設計に対する種々の改良が提案されている。米国特許第5,273,838号(発明者:Draper/Zymboly)は、4個の電池よりなる各電池群から1個のニッケルフェルト製コネクタを不用にするもので、第1列の1つおきの電池の相互接続部は隣接列の電池に電気的に接続されていない。この設計は、新型で長尺1mの電池を使用する際に電池が撓曲する可能性を減少する助けとなる。しかしながら、この設計によると、24個の電池より成る副組立体の全体強度が減少する。

【0007】

発電装置の設計を単純化し組み立てコストを減少させようとして、DiCroceとDraperとは、米国特許第5,258,240号において、最頂部が接触する燃料電池表面に合致する、厚くて、裏が平坦であり、多孔性金属繊維のフェルトコネクタ延伸部材を教示している。この多孔性フェルトコネクタは、燃料電池の長さ方向の小さな部分にわたる一連の薄い延伸部材として、または燃料電池の軸方向長さ全体に沿って延びる多孔性シートとして用いることができる。構造的な一体性を付与するには、側方に接続部が存在しないため、厚さが0.125インチ(0.62cm)となるように複数の電池を積層して、気孔率を約5乃至10%に減少する必要がある。これらの延伸部材は、中実のニッケルフォイル、またはフォイルと多孔性フェルトの複合物により形成することが可能であり、また、その特許の図3に示すように燃料電池が合致する2つの対向表面を備えるようにすればよい。繊維のフェルトを使用すると、長期間使用する間に緻密化する可能性がある。さらに、かかるフェルトを正確な寸法にするのは容易でなく、フェルトは弾力性を保持している。逆に、フォイルを用いると適当な強度が得られず、乾燥プロセス時に、電池束製造の重要な特徴であり必要な電池束へ高温空気の浸透が阻止される。

【0008】

Draper 他は、米国特許第6,379,831B1号において、最頂部と下方の肩部とを備えた波形メッシュ電気コネクタを提供することによりこれら全ての問題を解決しようとしている。このコネクタでは、燃料電池間のメッシュを剛性を付与するために真直ぐにするか、またはその特許の図5に示すように、燃料電池間のメッシュも波形にしているが、全ての場合で、最頂部がニッケル被覆相互接続部に直接接続されるためニッケルフェル

トコネクタが完全に省略され、各電池束を組み立てのための部品点数を劇的に減少する。この設計は、安価であるが極めて高品質のコネクタの電気メッキを必要とする。また、相互接続部のニッケルメッキとの物理的接触が望ましいレベルに達せず、スクリーンとニッケルメッキ相互接続部の結合部にかかる所与の力により、メッシュとメッキとの間の接触点に非常に大きい局部的応力がかかることになる。

【0009】

関連性が全くない領域であるが、D. P. Haack et al. in "Novel Lightweight Metal Foam heat Exchangers", 2001 ASME Congress Proceedings, New York, November 2001 において教示されるように、発泡金属が熱交換用媒体として使用されており、また、www.porvairfuelcells.com に述べられているように、発泡金属が、セラミック構造よりも 10 迅速な熱エネルギーの伝達を可能にする、水管理、熱交換用の燃料電池コンポーネントとして、また改質器の流れプレート及び触媒担体として用いられている。使用する金属には、とりわけ白金、銅、スチール、ニッケル、銀、コバルト、ロジウム、チタンが含まれる。発泡セラミックのフィルターも、米国特許第5, 456, 833号（発明者：Butcher et al.）に教示されている。

【0010】

接触する全ての燃料電池を電氣的に接続するだけでなく、接触する全ての燃料電池に合致してそれらを支持する気孔率の高いニッケルの電気コネクタ兼支持体であって、コネクタとニッケルメッキ相互接続部との間の接触強度が格段に改善され、同じ接触点における 20 導電性も格段に改善された電気コネクタ兼支持体が求められている。このコネクタ兼支持体は高い強度を持ち、金属フェルトを使用することなく適当な形状を選択することにより 所望の可撓性をさらに増加させ得るものでなければならない。

【発明の概要】

【0011】

従って、本発明の主要目的は、燃料電池発電装置の管状固体酸化物燃料電池束の内部に安価で、薄く、高強度で、多孔性の電気コネクタ兼支持体を提供することにある。

【0012】

本発明の主要目的はまた、燃料電池発電装置の燃料電池束を正及び負の電力リードに接続し、また電池束の列間を接続する改良型方法を提供することにある。

【0013】

本発明の上記及び他の目的は、各々が外側相互接続部及び外側電極を有する燃料電池をそれらの列の間に導電性金属の波形メッシュを介在させて隣接配置した固体酸化物燃料電池組立体であって、波形メッシュは最頂部と下方の肩部とを有し、最頂部と第1列の燃料電池の外側相互接続部との間には可撓性の連続気泡発泡ニッケルが両者と接触するように配置され、メッシュの肩部は第2列の燃料電池の外側電極と直接に接触し、発泡ニッケル及びメッシュは燃料電池の各列に電氣的に接続され、メッシュは1つの列の電池間に位置する単一の最頂部分を有し、燃料電池の間には金属フェルトの接続部が存在しない固体酸化物燃料電池組立体を提供することにある。

【0014】

本発明はまた、燃料電池の束を構成する請求項1の固体酸化物燃料電池組立体であって 40 、各電池束は、各々が外側電極及び外側相互接続部を有し、互いに離隔して軸方向に長い管状燃料電池の第1列と、各々が外側電極及び外側相互接続部を有し、互いに離隔して軸方向に長い管状燃料電池の第2列であって、第1列から離隔し、第1列の燃料電池の全ての外側相互接続部が第2列の燃料電池の全ての外側電極に対向する第2列と、第1列と第2列の燃料電池間を延びてそれらと接触する、燃料電池の導電性コネクタ兼支持体とより 50 成り、コネクタ兼支持体は気孔率が約60%以上で、厚さが0.012cm乃至0.076cmの展伸メッシュより成り、コネクタ兼支持体は下方の肩部に連結する一連の最頂部を有する波形構造を有し、肩部はそれらが接触する管状燃料電池の形状に合致し、各肩部は隣接する肩部に連結し、可撓性連続気泡発泡ニッケルは最頂部と第1列の燃料電池の相互接続部との間に位置して両者に接触し、全てのコネクタ兼支持体の肩部は第2列の燃料

電池の外側電極に直接に接触し、メッシュは1つの列の燃料電池間に頂部がある単一の波形部分を備えており、燃料電池間には金属フェルトの接続部が存在しない固体酸化物燃料電池組立体より成る。コネクタ兼支持体はニッケルより成るのが好ましい。

【0015】

本発明はまた、各組立体が下方及び上方の束を含む上記したような燃料電池束より成り、各束間の接続部では、各束のコネクタ兼支持体が隣接する束のコネクタ兼支持体と接触し、隣接するメッシュの単一の波形部分と、対向する波形部分とが可撓性連続気泡発泡ニッケルが充填される空所を形成し、空所内の発泡材は束間の電氣的接続を改善する燃料電池組立体より成る。この発明において、電池束と電力リードとの接続は、最後の束のコネクタ兼支持体を、平らな表面が電力リードに固着され、波形表面が電力リード内に位置する波形展伸メッシュに固着することにより行う。最後の束のコネクタ兼支持体の波形部分と電力リード内の波形表面とは対向し、これら対向する波形部分間の空間は可撓性連続気泡発泡ニッケルを充填する。

【0016】

本発明はさらに、固体酸化物燃料電池組立体の製造方法であって、(1) 各々が外側電極及び外側相互接続部を有し、互いに離隔し、軸方向に長い管状燃料電池の第1及び第2列であって、第2列が第1列から離隔し、第1列の燃料電池の全ての外側相互接続部が第2列の燃料電池の全ての外側電極に対向する第1及び第2列の燃料電池を用意し、(2) 気孔率が約60%以上であり、厚さが0.012cm乃至0.076cmの展伸ニッケルメッシュの平らなシートを用意し、(3) 一連の最頂部が下方の肩部に連結し、肩部の間のメッシュが単一の上向き波形部分を有し、少なくとも肩部が第1及び第2列の管状燃料電池の形状に合致する波形構造の可撓性のコネクタ兼支持体を構成するように、平らな展伸ニッケルメッシュのシートを成形し、(4) 波形ニッケルメッシュのコネクタ兼支持体の最頂部及び肩部が覆われるようにニッケル粉末を混合した有機接着剤を適用し、(5) コネクタ兼支持体の最頂部が覆われるように可撓性連続気泡発泡ニッケルの延伸部材を接着剤の上に配置し、(6) ニッケル粉末を混合した有機接着剤を可撓性連続気泡発泡ニッケルの延伸部材に適用し、(7) 波形のコネクタ兼支持体を、その上の発泡ニッケルの上と、燃料電池の第1列と第2列との間の肩部の上とに接着剤が位置し、コネクタ兼支持体の最頂部上の全ての発泡ニッケル延伸部材が第1列の燃料電池の相互接続部と接触して接着し、コネクタ兼支持体の全ての肩部が第2列の燃料電池の外側電極と接触して接着するように配置し、(8) 高温空気を多孔性のコネクタ兼支持体に通すことにより接着剤を乾燥させ、(9) 燃料電池組立体を焼結して、接着剤の有機部分を気化させ、一体的な燃料電池組立体を形成するステップより成る製造方法である。焼結は、電池束の製造または組立体を含む燃料電池発電装置の始動時に実施可能である。エポキシは気化し易く燃料電池のコンポーネントに何の悪影響も与えないことが判明している。さらに、最頂部と肩部との間の部分を波形にして可撓性を増加させる。

【0017】

本発明の前の実施例に用いた可撓性の連続気泡発泡ニッケルは、密度対表面積が高比率で、曲がりくねった流れチャンネル及び中間の強度特性を有する。この発泡ニッケルは高い強度を有すると共に可撓性でなければならない。発泡ニッケルの密度は、 20 kg/m^3 乃至 40 kg/m^3 の範囲にあるのが好ましい。比表面積は、 $10000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 乃至 $15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ の範囲内にある。押しつぶすための圧縮強度は、 0.15 MPa (22 ポンド/インチ^2) 乃至 0.25 MPa (36.7 ポンド/インチ^2) の範囲にあり、完全に引きちぎるための引張り強度は、 0.5 MPa (73.5 ポンド/インチ^2) 乃至 1 MPa (147 ポンド/インチ^2) の範囲内にある。この発泡構造は、相互に繋がった気泡の網状組織を形成する結合部がランダムに向いているが、そのサイズ及び形状がおおむね均質なものである。有用な発泡材は網状構造を有し、直線1インチ当たり約75個乃至約105個の気孔を有する上質発泡材である。直線1インチ当たりの気孔は拡大写真でカウントすることができる。

【0018】

本発明は、管状固体酸化物燃料電池用の気孔率が高く、薄く、極めて強靱な電気コネクタ兼支持体を提供するが、これにより、多くの手作業が不要になり、24個の電池より成る束の合計部品点数が440から約60に減少し、製造時間を約50%削減できるだけでなく、組み立ての自動化が可能になる。また、この設計により発泡ニッケルによる導電率が改善され、電池間の導電性が増加し、可撓性が総合的に増加し、発泡材使用により任意所与の力について上部及び下部の燃料電池接続部にかかる応力が減少する。この特徴は、発泡材と相互接続部の延伸部分のメッキとの間の接続性の大きい増加によるものであり、これは多数の接触点により可能となる。局所的な応力も、任意所与の荷重について大きく減少する。これとは対照的に、メッシュと相互接続部とを直接接続する場合、接触点が少数になるため電気的コンダクタンスが減少し、接合部の強度が劣るものとなる。

10

【実施例】

【0019】

本発明の好ましい実施例では、固体酸化物燃料電池(SOFC)発電装置のプレナム側の燃料ガスとして、天然ガスまたは不完全燃焼ガスを用いる。管状燃料電池内を流れる酸化ガスとしては、空気を用いるのが好ましい。また、天然ガス及び空気の代わりに他の燃料ガス及び酸化ガスを使用することが可能である。

【0020】

図1は、ニッケル繊維延伸部材を使用せず肩部導電部材22により接続した一連の燃料電池34の従来型設計を示す。この図は、自己支持型内側空気電極16、固体酸化物電解質18、通常はニッケル被覆を施した相互接続部20及び外側燃料電極32を示す。1つの列の中心を破線25で示す。図2は、波形の肩部導電部材22により接続された一連の燃料電池34の別の従来型設計であり、肩部コネクタ部分23は少なくとも2つの波形部24と最頂部分40とを備えており、この最頂部分40には別の波形部41があり、これら全てにより高弾性の構成が得られる。

20

【0021】

図3は、発電装置のプレナム内に配置される、本発明による8×3の燃料電池束アレイを示す。このアレイは、例えば、燃料電池17、19、21を含む第1列14のような燃料電池列より成り、これらの燃料電池は電池間を延びる導電部材により電気的に並列接続されている。燃料電池17、19、21はまた、燃料電池27、29、31を含む隣接する第2列の燃料電池に、その部材22だけでなく連続気泡発泡ニッケル51の延伸部材(図5及び9のさらに詳示)により直列接続されている。

30

【0022】

図4は、本発明の発泡ニッケル延伸部材11を用いた燃料電池群34を詳示する。導電部材22は、展伸または織込みニッケルメッシュまたはスクリーンのような薄い多孔性ニッケルシートであり、そのメッシュまたはスクリーンは燃料電池列25の燃料電池27及び29の外側電極32及びその上方列の燃料電池17、19の連続気泡発泡ニッケル51と接触する。燃料電池間のこの導電部材には、上向き波形部53を有する単一の波形部分52がある。この図はまた、発泡ニッケル材51と、導電部材22の最頂部40内の外側電極32との間の中空未充填容積部38を示すが、これは多孔性の連続気泡発泡ニッケル51と共に可撓性コネクタ兼支持体として働く。

40

【0023】

導電部材22は下方の肩部42も有するが、この肩部は波形最頂部の側壁43により最頂部40に接続されている。これら最頂部及び肩部はそれらが接触する管状燃料電池の形状に合致し、肩部42はそれぞれ導電部材22により隣接する肩部に接続されている。最頂部と肩部を連結する部分は真直ぐではなく、組立て時における電池束の取り扱いを容易にするために十分な剛性を与えると共に電池束とその束に接続されるセラミック構造との熱膨張率の相違により生じる電池束構造の寸法変化を吸収するためにその構造に十分な可撓性を付与する単一の波形部53を有する。また、燃料電池17及び19のような第1列14の燃料電池の全ての外側相互接続部20は、27及び29のような燃料電池の第2列25の全ての外側電極に対向している。図示のように、任意の燃料電池間には金属フェル

50

トの接続部は存在せず、それらは、ニッケルフェルトよりも実質的に安価で構造的安定性が高いという利点を有する連続気泡発泡ニッケル51より完全に置き換えられている。

【0024】

図5は、最頂部と肩部との間の波形部分43と、上向き波形部53を有する単一の波形部52とを備えた導電部材のコネクタ兼支持体を示す。図5に示すように、燃料電池は互いに離隔関係にあり、軸方向に延びる管状燃料電池（図示を簡単にするため詳細は示さない）の一部である。図4から最もよくわかるように、燃料電池は全て、内側の自己支持型空気電極16と、固体電解質18（650℃を超える温度で酸素イオン伝導性である）と、外側燃料電極32と、外側相互接続部20とを備えている。

【0025】

上向き波形部分53を有する単一の波形部52を備えた導電部材は、気孔率が約60%以上（好ましくは65%乃至80%）であり、厚さが0.025cm（0.01インチ）と0.076cm（0.03インチ）との間（好ましくは0.012cm（0.005インチ）乃至0.076cm（0.03インチ））にある、好ましくはニッケルの高強度展伸メッシュより成る。材料の厚さが0.012cm乃至0.076cmの範囲を実質的に外れると、波形にして最頂部40、最頂部の波形部分43及び肩部42を形成するのが非常に困難になる。0.012cm未満であると、構造的な一体性が損なわれる。メッシュは、燃料が燃料電極32に近い所で燃料電池から外方に容易に流れることができると共にニッケル粒子を充填した有機系接着剤（図示せず）を乾燥できるように、気孔率が少なくとも60体積パーセントであるのが好ましい。この接着剤は、最初に導電部材22を燃料電池の各列に接合し、そして発泡ニッケル51を最頂部40に接合するために使用される。好ましくは約40重量パーセント乃至80重量パーセントの細かいニッケル粒子を充填したエポキシ樹脂である接着剤の有機部分は、燃料電池束を発電装置内に配置する、即ち、発電装置の始動時に焼結が起こる前または後に、約1000℃乃至1200℃で加熱／焼結する間に焼結される（または気化する）。特に、エポキシ樹脂の揮発成分は燃料電池の特性に悪影響を及ぼさないことが判明している。

【0026】

導電部材22は、単一の波形部52と共にばねのような効果を発揮し、金属フェルトより優れた衝撃吸収特性を有する。さらに、この導電部材22は最高1200℃の温度で12ヶ月またはそれ以上の長期間動作させてもその影響を受けず、発泡金属51には金属フェルトのような収縮または崩壊（即ち、緻密化及び厚さの減少）が生じない。発泡金属のこの特異な性質は本発明の重要な特徴であるが、その理由は、電池束の収縮を防止することにより電池が脆弱なセラミックの上方電池位置決めボードを破壊する現在の傾向がなくなるからである。

【0027】

従って、本発明は、固体酸化物燃料電池を束ねる時にそれらの燃料電池間に必要な直列及び並列の電氣的接続を行う手段を提供する。この接続手段は、薄い展伸ニッケルと発泡材の組立体である。発泡ニッケルの延伸部材は最頂部に接合される。これらの発泡延伸部材は、コネクタと電池の相互接続部との間の焼結後の接合性を実質的に改善する。コネクタユニット全体を、「頂部に発泡材を備えたスクリーン」と呼ぶ。本発明では、電池束内の管状固体酸化物燃料電池の直列及び並列の接続を、薄い展伸発泡ニッケルを頂部に備えたスクリーンにより行う。テスト用の組立体では、頂部に発泡材を備えたスクリーンの長さは365mmであった。束の長さをカバーするために、発泡材を頂部に備えたスクリーンを4個使用する。公称長さ145cmの単一スクリーンを各接合部に用いることができる。発泡材延伸部材のスクリーンの3つの最頂部への接合は、ニッケルを充填したエポキシにより行う。ニッケル充填エポキシはまた、スクリーンの6つの肩部を3つの電池の燃料電極への接合に、また3つの発泡材延伸部材の3つの電池のニッケルメッキ相互接続延伸部材への接合に使用する。エポキシは電池束に優れた焼結前強度を与える。1050℃で焼結すると、エポキシの結合剤が焼き尽くされて充分焼結された高強度の接合部が残る。エポキシは、相互接続部と接着させる3つの発泡材延伸部材のそれぞれに沿って単一の

ビーズとして適用する。ビーズはスクリーンの各肩部に適用する。2つの肩部は3つの燃料電極のそれぞれに接続する。本発明は、従来技術に比べて3つの重要な改良点を有する。これらは、(1)スクリーンの屈曲部が直列(8個の電池)方向及び並列(3個の電池)方向の両方向の可撓性を増加させる。この可撓性は、束内の電池が他の電池に実質的な力を加えずに相対的に移動できることを意味する。この属性により、電池の開放端に燃料の再循環及び排気ガス空間を形成するセラミック構造の係合が容易になる。(2)スクリーンの最頂部に接合される発泡ニッケルは、焼結後のコネクタ・相互接続部間の接合強度及び導電性を実質的に改善する。この改善は、細かい網状構造の発泡材の使用により得られる相互接続部のメッキとの間の接続点が大きく増加したためである。(3)頂部発泡材が外側の並列接続群の3つの電池の燃料電極に接続されるように9番目のコネクタが逆になっ

10

【0028】

現在の手法と比較した場合の本発明の他の利点には、24個の電池より成る束の部品点数の合計が440から168に減少すること、メッシュを用いて束を手で組み立てる時間がフェルトを用いて束を組み立てる時間の半分以上で済むこと、メッシュと発泡金属の束を用いる設計はフェルトの束を用いる設計に比べて組立てプロセスの自動化が格段に容易であること、自動化されると、メッシュと発泡金属の束の組立てをフェルトを用いる束の組立てに現在費やされる時間の10分の1で行えること、原料及びその成型を含むメッシュのコストがフェルトのコストの約10分の1で済むこと、また、電池間の導電率がフェルトによるよりもメッシュを用いる方が大きいことがある。

20

【0029】

図7を参照して、該図は電池束間の接続を示すが、上方の束74の最下層72の導電部材の単一の波形部52の上向き波形部分53と、下方の束78の最上層76の導電部材の単一の波形部52の下向き波形部分53との間の空所は連続気泡発泡ニッケル51で充填されている。図6は束間の接続を示すが、上方の束72'の最上層80の導電部材の単一の波形部52の下向き波形部分53は、連続気泡発泡ニッケル51を充填される縦方向の空所70'を提供するために上向き波形部分53'を有する頂部の束間集電手段82に接続されている。頂部の束間集電手段は、頂部の束72'から隣接する頂部の束72''へ束分離絶縁ボード84を介して延びる。連続金属溶接部を点86で示す。頂部の束間集電手段82は頂部スクリーンを逆にしたものである。従って、スクリーン導電部材間の図6及び7の空所70及び70'は、導電性を改善するサンドイッチ状の連続気泡発泡ニッケル51を充填してある。発泡延伸部材51'を含めることにより、束間の電圧降下が、発泡材延伸部材が存在しない場合の値の約25%に減少する。

30

【0030】

同様に、図8においても、バスバー90には逆向きのスクリーン導電部材82'が取り付けられており、この導電部材は、図6のもう1つのケースと同様に、上向き波形部分53に逆向きに整列させて、連続気泡発泡ニッケル51が充填される縦方向の空所70'を形成する。従って、電池束間、電池束列間及び電池束列と電力リードの間の全ての接続部において、連続気泡発泡ニッケル51は、図6に示すような対向する波形部分53と53'との間の、あるいは図7に示すように53と53'との間、もしくはバスバー90の切込み部分88の間の縦方向の空所/開口70、70'を充填する。発泡材延伸部分51を充填すると、電池束間の電圧降下が発泡材延伸部材を充填しなかった場合の値の約25%に減少する。

40

【0031】

図9は、有用な発泡ニッケルの理想化された1つの三次元表示である。発泡金属を製造する1つの方法は、ポリウレタンのような可撓性連続気泡発泡有機材料にニッケル粒子のような金属粒子を含む水溶性金属スラリーを含浸させる方法である。含浸された発泡有機材料は過剰なスラリーを押出すために圧縮される。その後、この材料を乾燥させ、焼成して有機材料を焼尽し、金属/セラミック被覆を焼結する。それにより、出発材料である発

50

泡有機材料と実質的に同一構造の複数の相互接続用空所を有する剛性発泡材が得られる。この構造を図9に略示するが、かかる発泡材96の理想化された1つの断面表示には、相互接続用空所と、曲がりくねった通路97とが含まれる。その密度は中実の親金属の5乃至20体積パーセントと低く、これは即ち、気孔率が95乃至80体積パーセントということであり、高い強度を有し、コンプライアンス性であることが判明している。用語「コンプライアンス性」は、ここでは、実効弾性率が、電池を損傷させる実質的な力を燃料電池に伝達せずに応力を充分吸収できる小さいものであることを意味する。それはまた、網目状の三次元ネットワーク構造を有し、密度に対する表面積の比率が大きく、融解温度が1000℃以上（純粋な形では、通常は約1435℃と約1455℃の間）である。

【0032】

図10は本発明の方法をブロックで略示するものであるが、第1列及び第2の列の燃料電池を用意し（100）、第1列の燃料電池の外側相互接続部を第2列の燃料電池の外側電極に全て対向させ、展伸ニッケルメッシュの平らなシートを用意した（102）後、加熱されたメッシュを、一連の最頂部が肩部の間にあり、単一の波形部分がそれら肩部の間に位置する波形構造となるように成形し（105）、最頂部が覆われるように接着剤を被覆（108）し、最頂部が覆われるように連続気泡発泡ニッケルの延伸部材を接着剤の被覆上に施した（110）後、発泡材の上及びメッシュの肩部の上にさらに接着剤を適用し（112）、メッシュと発泡構造を燃料電池の列間に配置し（114）、接着剤を乾燥させ（116）、燃料電池組立体を焼結（118）するものである。

【0033】

例

ダイヤモンド形の開口を有し、気孔率が約65%で、厚さが0.05cm（0.02インチ）の展伸ニッケルメッシュをローラーダイの型内に配置し、この型により、メッシュを、最頂部の外形が図4及び5に示すものと同じ束にされる管状固体酸化物燃料電池の外表面にはほぼ合致する波形構造に成形した。波形メッシュ構造の各最頂部に、約70重量パーセントの小さなニッケル粒子を混合したエポキシセメントのビーズを被覆した。エポキシセメントのビーズの上に、モデル番号200105031011でInco社により市販される、直線1インチあたり約85個の気孔を有する網目構造の発泡ニッケルの薄い延伸部材（幅0.6cm、厚さ0.17cm、長さ36cm）を配置した。その後、同様なエポキシセメントの別のビーズを、発泡ニッケルの延伸部材の頂部に長さ方向に、またメッシュの肩部の上に被覆した。その後、成形メッシュと接着剤を施したニッケル延伸部材とを3つの燃料電池より成る燃料電池列の間に配置して相互接続部と燃料電極とを接触させ（図4に図示）、高さ8個の燃料電池構成にした。高温空気を燃料電池間の空間及びメッシュの最頂部内の空間に吹き込んでエポキシを乾燥させた。そして、電池束を1100℃の焼結オーブンに2時間配置して、エポキシを気化させ、ニッケル粒子とメッシュ／発泡ニッケルとを接合させた。冷却した後、電池束をテストした結果、優れた構造及び電気化学的特性を有することが判明した。図4に示すものと同じ数個の電池束（しかしながら、11×2のアレイ）を本発明の態様で構成したが、優れた構造特性だけでなく優れた電気化学的特性を示した。エポキシの気化は電気的特性に明白な悪影響を及ぼさなかった。メッシュと発泡ニッケルの組み合わせは、燃料電池を接続し支持する強力な可撓性の積層導電部材を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】従来技術の燃料電池組立体の一実施例を示す断面図である。

【図2】従来技術の燃料電池組立体の別の実施例を示す断面図である。

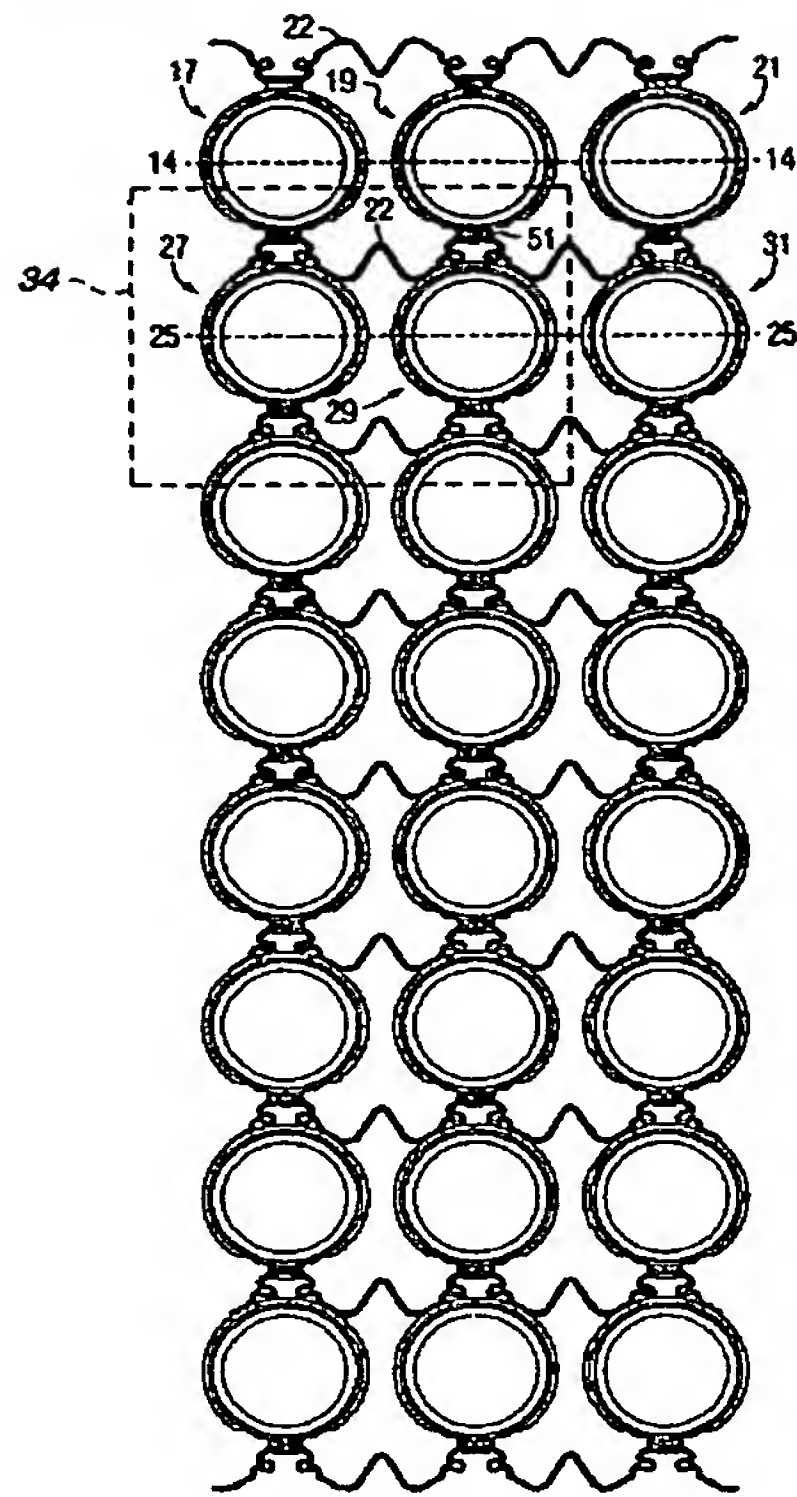
【図3】本発明による24個の燃料電池束を示す断面図である。

【図4】本発明による図3の燃料電池束の一部を示す詳細断面図である。

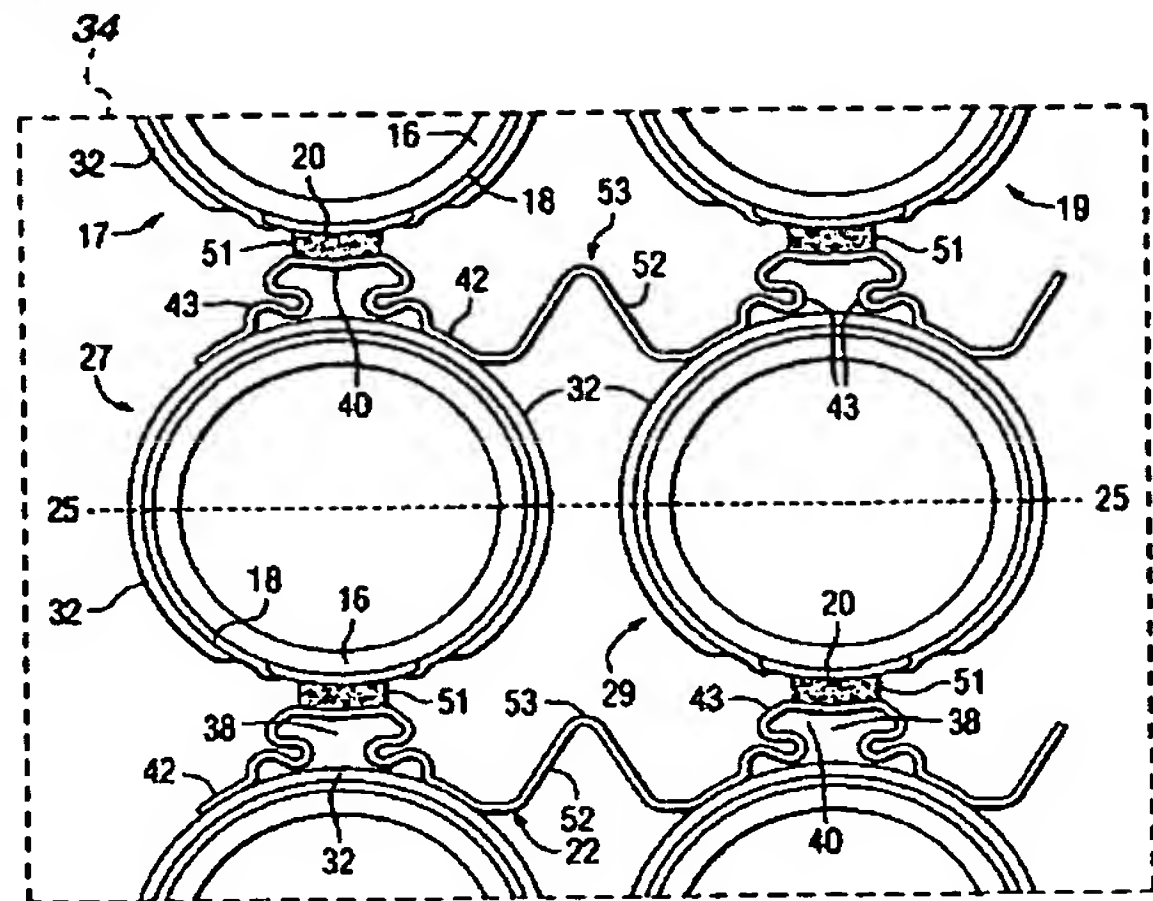
【図5】第1列と第2列の燃料電池間に位置し、頂部に発泡ニッケル延伸部材を備えた本発明の波形構造を示す三次元断面図である。

【図6】本発明の燃料電池束間接続部を示す断面図である。

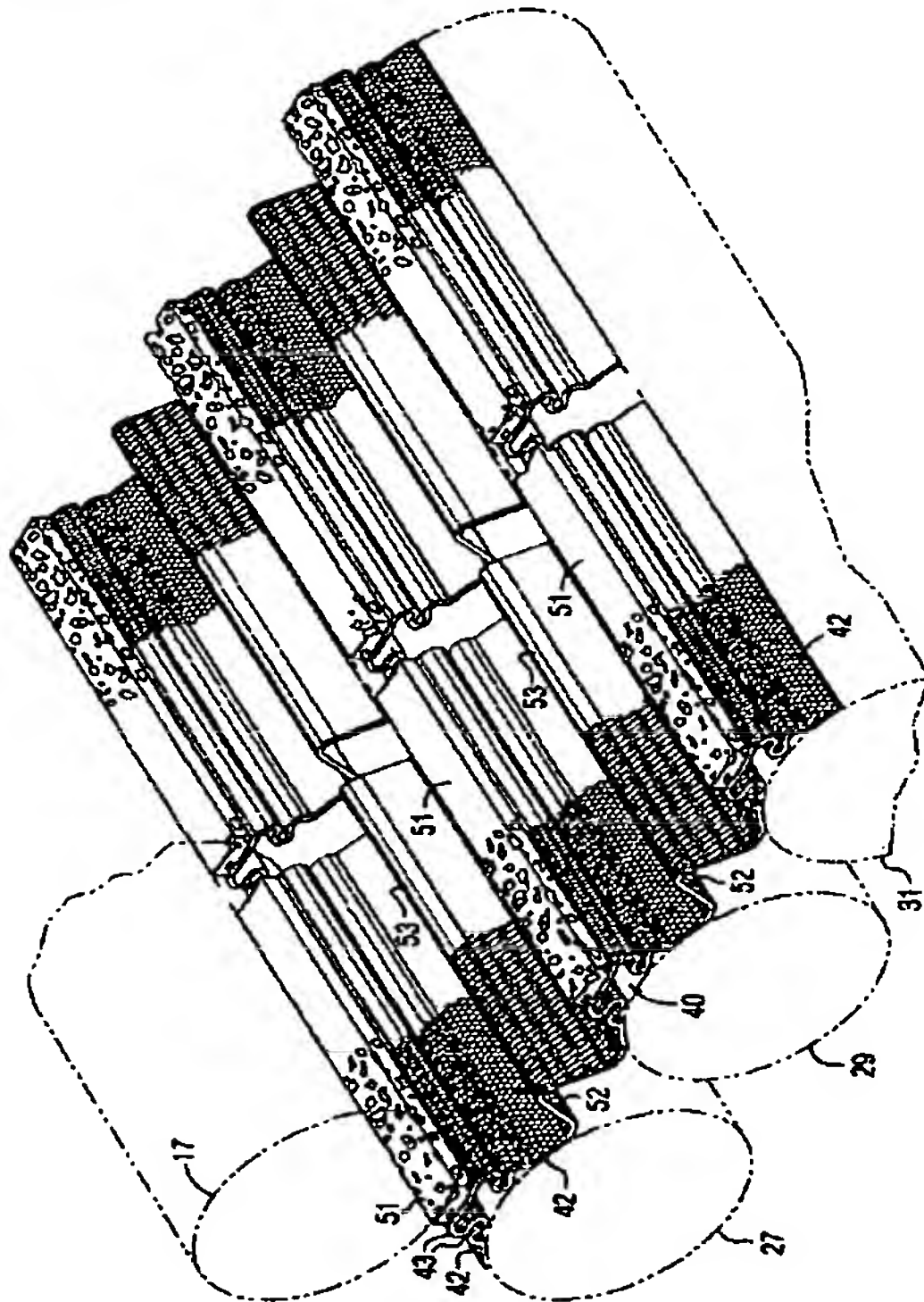
【図 3】



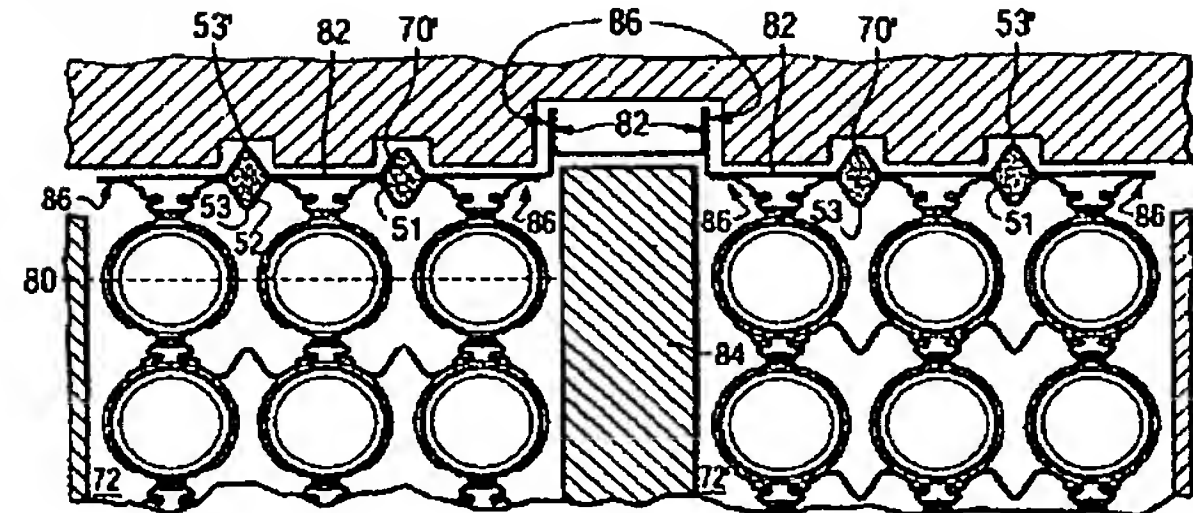
【図 4】



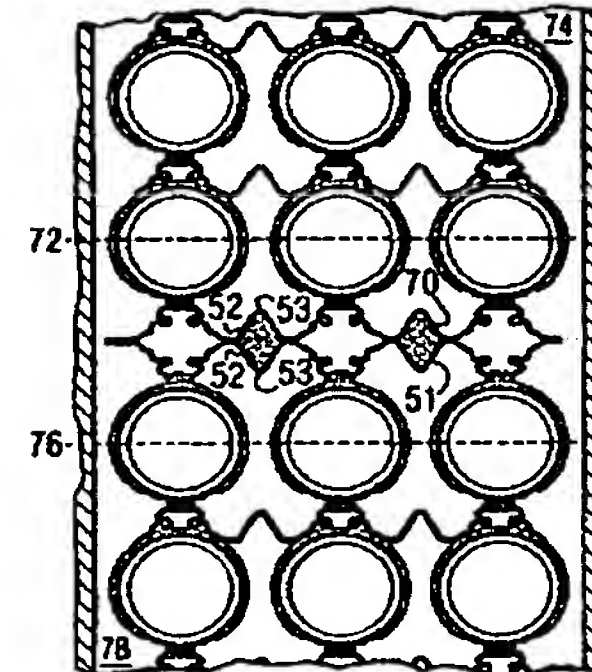
【図 5】



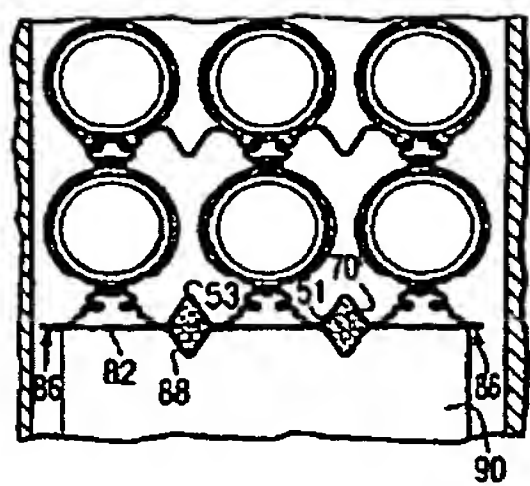
【図 6】



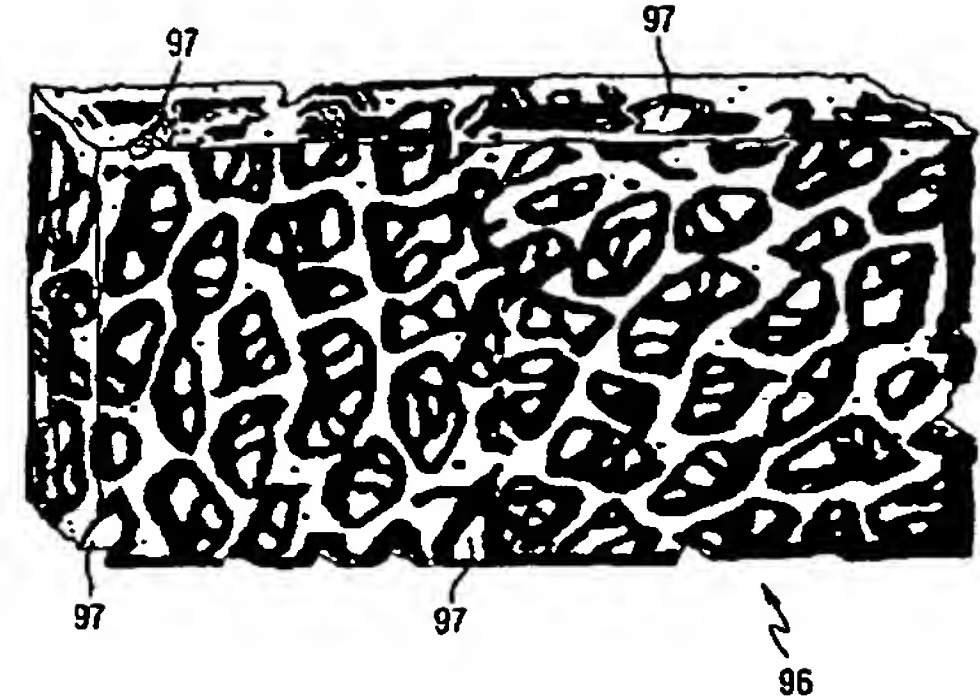
【図 7】



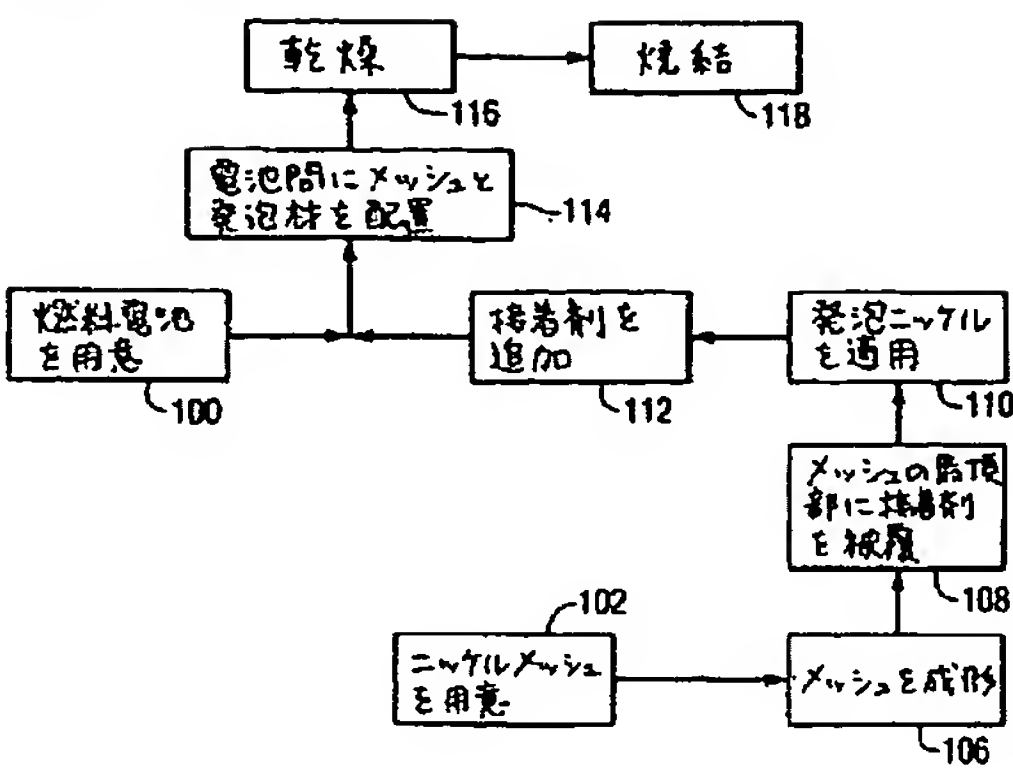
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 ロバート ドレイパー

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 5 2 3 5 ビッツバーグ ウッドランド・ヒルズ・ドライ
ブ 4 4 4

(72)発明者 レイモンド エイ ジョージ

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 5 2 2 1 ビッツバーグ バトリス・コート 9

(72)発明者 トーマス プレビシュ

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 1 5 0 8 5 トラフォード ワルーバ・アベニュー 4 2 7
3

Fターム(参考) 5H026 AA06 BB01 BB03 CC05 CV02 CV08 CX01 CX04 CX07 CX08

CX09 EE02 HH03 HH04 HH05 HH08 HH09

【外国語明細書】

**COMBINATION NICKEL FOAM EXPANDED NICKEL SCREEN ELECTRICAL
CONNECTION SUPPORTS FOR SOLID OXIDE FUEL CELLS**GOVERNMENT CONTRACT

The Government of the United States of America has rights in this invention pursuant to Contract No. DE-FC-2697FT34139, awarded by the United States Department of Energy.

BACKGROUND OF THE INVENTIONField of the Invention

This invention relates generally to inexpensive high strength, flexible, thin, improved electrical connectors and supports for tubular solid oxide electrolyte fuel cells in a fuel cell generator.

Description of the Prior Art

Square pitched, series-parallel, nickel felt to nickel coated interconnection components of solid oxide fuel cells are well known, and taught in U.S. Patent Specification Nos. 4,490,444 and 4,833,045 (Isenberg and Pollack-Reichner, respectively). Their connection to the main fuel cell generator current collect bus bars was also taught by Isenberg, in U.S. Patent Specification No. 4,648,945. The fuel cells used usually contain a self-supported air electrode tube, where the air electrode is covered over about 300 degrees by a solid electrolyte film. Thus, there is a 60 degree wide axial strip down the length of the cell. This remaining 60 degrees of air electrode surface is covered by an interconnection strip, usually a nickel plated lanthanum-chromite. As a top layer, fuel electrode covers the solid electrolyte over about 280 degrees of the electrolyte surface.

2

These cylindrical cells are usually placed in a square pitch, series-parallel connected array, wherein the air electrode of one cell is connected to the fuel electrode of the adjacent series-connected cell by a plated interconnection strip and a strip of 80% to 95% porous sintered nickel felt, which is about 0.1 inch (0.25 cm) thick. Other nickel felts provide parallel connections between the fuel electrodes of adjacent cells. The series path is essential for the generation of a practical DC stack voltage. The parallel connections provide paths by which the current can circumnavigate any defective open circuit cells. Fuel flows axially in the passages between the groups of cells. This has been one tubular fuel cell design for many years.

In this design, the primary subassemblies from which a solid oxide fuel cell generator is formed are called "cell bundles". Usually, cell bundles contain twenty-four cells on an 8x3 cell matrix. Eight cells are series connected to form one row of a three-row bundle. The three rows are connected in parallel through the connection of each cell in the row with the adjacent cell in the next row. Between the nickel plated interconnection strip of one cell and the nickel fuel electrode of the next cell in a row, any two cells are presently series connected by a nickel felt of a rectangular cross-section (approximately 10 mm x 14 mm). Parallel connection is also currently accomplished by similar felt strips. In this case, the felts connect the fuel electrodes of adjacent cells. Along the length of a cell, eight felts of about 185-mm length are used to form a series connection, and four felts of 185-mm length are used to accomplish a parallel connection. A total of 280 felt

3

strips are used per bundle. This means of electrical connection is effective; however, it is costly in terms of materials and is labor intensive. Furthermore, this arrangement is not very conducive to automation.

Improvements to this standard design have been suggested. U.S. Patent Specification No. 5,273,838 (Draper/Zymboly) eliminated one nickel felt connector from each group of four cells, where alternate cells of a first row had no electrical connection of their interconnections to cells in an adjacent row. This design helped to eliminate the potential for bowing when using newer, longer one meter cells. This design may, however, decrease the overall strength of the twenty-four cell subassemblies.

In an attempt to simplify generator design and reduce assembling costs, DiCroce and Draper, in U.S. Patent Specification No. 5,258,240, taught a thick, flat-backed, porous metal fiber felt connector strip, having a crown portion of metallic fiber felt conforming to the surface of its contacting fuel cell. These porous felt connectors could be used as a series of thin strips across a small part of the fuel cell length, or as a porous sheet extending along the entire axial length of the fuel cells. In order to provide structural integrity, since there are no side connections, a plurality of cells would have to be laminated to provide a thickness of 0.125 inch (0.62 cm), thereby reducing porosity to about 5 to 10%. The strips could also be made of a solid nickel foil or a composite of foil and porous felt; they could also have two opposing fuel cell conforming surface, as shown in Fig. 3 of that patent. The use of fibrous felts still allowed potential densification during prolonged use. Additionally, it was

4

difficult to fashion such felts to exact dimensions, and the felts retained a springiness. Conversely, the use of foils did not provide adequate strength, and prevented the required infiltration of the bundle with hot air during the drying process, which is an important feature of bundle manufacture.

Draper et al. in U.S. Patent Specification No. 6,379,831 B1 attempted to solve all these problems by providing a corrugated mesh electrical connector having a top crown and bottom shoulder portion where the mesh between fuel cells could be straight to impart rigidity or, as shown in Fig. 5 of that patent, the mesh between fuel cells was also corrugated, but in all cases, the nickel felt connectors were completely eliminated by direct connection of the crown portion to the nickel coated interconnection, dramatically reducing the number of parts to assemble each bundle. This design while inexpensive requires extremely high quality connector electroplating. And also results in less than desirable physical contact with the nickel plating of the interconnection, so that any given force that is applied to the screen/nickel plated interconnection joint results in very high localized stresses at the points of contact between the mesh and the plating.

In a completely unrelated area, metal foams have been used as a heat exchange media, as taught by D.P. Haack et al. in "Novel Lightweight Metal Foam Heat Exchangers", 2001 ASME Congress Proceedings, New York, November 2001; and as fuel cell components for water management, heat exchange, flow plates and catalyst substrate for reformers as described at www.porvairfuelcells.com, allowing faster

5

transfer of heat energy than in ceramic structures. Metals used include platinum, copper, steel, nickel, silver, cobalt, rhodium and titanium, among others. Ceramic foam filters have also been taught in U.S. Patent Specification No. 5,456,833 (Butcher et al.)

What is needed is a highly porous nickel based electrical connector/support to conform to and support all contacting fuel cells, as well as to connect all contacting fuel cells electrically, where connector to nickel plated interconnection contact strength is much improved and where electrical conductivity at the same contact point is also much improved. The connector/support must be strong, but it must also be possible to increase even more the desired flexibility by selection of an appropriate combination form or shape, without use of metal felts.

SUMMARY OF THE INVENTION

Therefore, it is a main object of this invention to provide an inexpensive, thin, strong, porous electrical connector/support within tubular solid oxide electrolyte fuel cell bundles in a fuel cell generator.

It is also a main object of this invention to provide an improved method of connecting fuel cell bundles in a fuel cell generator, to positive and negative power leads and bundle row to bundle row connection.

These and other objects of the invention are accomplished by providing a solid oxide fuel cell assembly comprising rows of fuel cells, each having an outer interconnection and an outer electrode, disposed next to each other with corrugated electrically conducting metal mesh between each row of cells, the corrugated mesh having a top crown portion and a bottom shoulder portion, where a

6

flexible open cell nickel foam is disposed between and contacts both the crown portion and the outer interconnections of the fuel cells in a first row, and where the shoulder portion of the mesh directly contacts the outer electrodes of the fuel cells in a second row, said nickel foam and mesh electrically connecting each row of fuel cells, said mesh having a single corrugation with a top portion between fuel cells in a row and where there are no metal felt connections between any fuel cells.

The invention also comprises a plurality of solid oxide fuel cell assemblies comprising a fuel cell bundle, each bundle comprising a first row of spaced apart, axially elongated tubular fuel cells, each containing an outer electrode and an outer interconnection, the second row being spaced apart from the first row, where all the outer interconnections of the first row fuel cells face all the outer electrodes of the second row fuel cells; and an electrically conducting connector support for the fuel cells, extending between and contacting the first row and the second row of fuel cells, where the connector support consists of an expanded mesh more than about 60% porous and having a thickness between 0.012 cm (0.005 inch) and 0.076 cm (0.03 inch), said connector support having a corrugated structure with a series of top crowns connected to bottom shoulder sections, where the shoulder sections conform to the shape of their contacting tubular fuel cells, where each shoulder section is connected to its adjacent shoulder section, where a flexible open cell nickel foam is disposed between and contacts both of the top crowns and the interconnections of the first row fuel cells, and all of the support shoulder sections directly contact the outer

7

electrodes of the second row fuel cells, said mesh having a single corrugation with a top portion between fuel cells in a row and where there are no metal felt connections between any fuel cells. Preferably, the connector support is made of nickel.

The invention also comprises a plurality of fuel cell assemblies where each assembly comprises a fuel cell bundle, as described above, including a bottom and top bundle, where, in the connection between each bundle, each bundle connector support contacts an adjacent bundle connector support, the single corrugation in the adjacent mesh bundle connection as well as the top corrugated portions opposite each other form a void volume which is filled with flexible open cell nickel foam, where the foam in the void volume improves electrical connection from bundle to bundle. In the above invention, bundle to power lead connections are made by attaching the last bundle connection support to a corrugated expanded mesh having flat surfaces attached to the power lead and corrugated surfaces disposed within the power lead, where the top portion of the corrugation in the last bundle connection is opposite the corrugated surface within the power lead and the volume in those corrugations filled with flexible open cell nickel foam.

The invention even further comprises a method of manufacturing, a solid oxide fuel cell assembly, comprising the steps of: (1) providing a first and second row of spaced apart, axially elongated tubular fuel cells, the second row being spaced apart from the first row, each fuel cell containing an outer electrode and an outer interconnection, where all the outer interconnections of

8

the first row fuel cells face all the outer electrodes of the second row fuel cells; (2) providing a flat sheet of expanded nickel mesh having a porosity over about 60% and a thickness between 0.012 cm and 0.076 cm; (3) forming the flat, expanded nickel mesh sheet into a corrugated structure with a series of top crowns connected to the bottom shoulder sections where the mesh between shoulder sections has a single corrugation with a top portion to provide a flexible connector support, and where at least the shoulder sections will conform to the shape of the tubular fuel cells of the first and second rows of fuel cells; (4) adding an organic adhesive mixed with nickel powder to cover the crowns and shoulder portions of the corrugated nickel mesh connector support; (5) disposing a strip of flexible open cell nickel foam on top of the adhesive covering the crown of the connector support; (6) adding an organic adhesive mixed with nickel powder to the flexible open cell nickel foam strip; (7) disposing the corrugated connector support with its top nickel foam with adhesive on both the top of the foam and both the shoulders, between the first and second rows of fuel cells, such that all of the nickel foam strips on the top of the connector support top crowns contact and adhere to the interconnections of the first row fuel cells and all of the connector support shoulder sections contact and adhere to the outer electrodes of the second row fuel cells; (8) drying the adhesive by passing hot air through the porous connector support; and (9) sintering the fuel cell assembly to vaporize the organic portion of the adhesive and provide an integral fuel cell assembly. The sintering can be accomplished during manufacture of a cell bundle or during

9

startup of a fuel cell generator containing the assembly. Epoxy resin has been found to vaporize easily and provides no ill effects on the fuel cell components. Additionally, the sections between crown top and shoulder are corrugated for increased flexibility.

The flexible open cell nickel foam used in the previous embodiments of the invention has a high ratio of surface area to density, tortuous flow channels and intermediate strength properties. It must be strong yet flexible. Density of the foam is preferably in the range of 20 kg/m^3 to 40 kg/m^3 . Specific surface area is in the range of $10000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ to $15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Compressive strength is in the range of 0.15 MPa (22 lb/in^2) to 0.25 MPa (36.7 lb/in^2) to crush while tensile strength is in the range of 0.5 MPa (73.5 lb/in^2) to 1 MPa (147 lb/in^2) to completely tear apart. The foam structure consists of ligaments forming a network of interconnected cells which are randomly oriented and mostly homogeneous in size and shape. The useful foam is a fine foam having a reticulated structure and from about 75 pores per linear inch to about 105 pores per linear inch. Pores per linear inch can be counted from an enlarged photograph.

This provides a very porous, thin, extremely tough electrical connector support combination for tubular solid oxide fuel cells, allowing elimination of much hand labor, reducing total parts for a 24-cell bundle from 440 to about 60, cutting production time about 50%, as well as allowing automated assembly. Also this design has improved conductivity provided by the nickel foam, with a higher cell to cell electrical conductivity, increased total flexibility, and less stress to top/bottom fuel cells

10

connections for any given force due to use of the foam. This feature by virtue of greatly enhanced foam to plated interconnection strip connectedness which is facilitated by the great number of points of contact. Localized stresses are also greatly reduced for any given load. In contrast the direct connection of mesh to interconnection has few points of contact which results in lower electrical conductance and lower joint strength.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In order that the invention can be more clearly understood, convenient embodiments thereof will now be described, by way of example, with reference to the accompanying drawings, in which:

Fig. 1 is a cross-sectional view of one embodiment of a prior art fuel cell assembly;

Fig. 2 is a cross-sectional view of another embodiment of a prior art fuel cell assembly;

Fig. 3 is a cross-sectional view of a 24 fuel cell bundle in accordance with this invention;

Fig. 4 is a detailed cross-sectional view of a part of the fuel cell bundle of Fig. 3, in accordance with this invention;

Fig. 5, which best embodies the invention, is a three-dimensional, cross-sectional view of the corrugated structure of this invention, topped with a nickel foam strip, disposed between a first row and a second row of fuel cells;

Fig. 6 is a cross-sectional view of the fuel cell bundle to fuel cell bundle connections of this invention;

11

Fig. 7 is a cross-sectional view of the fuel cell bundle row to fuel cell bundle row connections of this invention;

Fig. 8 is a cross-sectional view of the fuel cell bundle to fuel cell power lead connections of this invention;

Fig. 9 is a magnified three dimensional view of the nickel foam strip used in this invention; and

Fig. 10 is a block diagram of one method of this invention.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In the preferred practice of the present invention, natural gas or an incompletely combusted gas is employed as a fuel gas on the plenum side of a solid oxide fuel cell (SOFC) generator. Air is preferably employed as an oxidizing gas flowing within the tubular fuel cells. Also, other fuel gas and oxidizing gases may be employed in place of natural gas and air.

Fig. 1 shows a prior art design for a group of fuel cells 34 connected with shoulder conducting member 22 without use of nickel fiber strips. Also shown is the self supporting inner air electrode 16 solid oxide electrolyte 18, interconnection 20, usually nickel coated and outer fuel electrode 32. The center of one row is shown as dashed line 25. Fig. 2 shows another prior art design for a group of fuel cells 34 connected with a more corrugated shoulder conducting member 22 where the shoulder connector portion 23 has at least two corrugations 24 as well as a top crown portion 40 with additional crown corrugations 41, all making for a very springy construction.

12

Fig. 3 shows an 8x3 cell bundle array of fuel cells in the plenum of a generator, embodying the present invention. The array comprises rows of fuel cells, such as, for example, a first row 14 including fuel cells 17, 19, and 21, which are electrically connected in parallel by an electrically conducting member extending between cells. Fuel cells 17, 19, and 21 are also electrically connected in series with the fuel cells in the adjacent second row 25, including fuel cells 27, 29, and 31 by the member 22, as well as by strips of open cell nickel foam 51 (shown more clearly in Figs. 5 and 9).

Fig. 4 shows in more detail the group of fuel cells 34 using nickel foam strips 51 in accordance with this invention. The conducting member 22 is a thin sheet of porous, nickel such as an expanded or woven nickel mesh or screen which contacts the outer electrodes 32 of the cells 27 and 29 in the fuel cell row 25, and the open cell nickel foam 51 of the cells 17 and 19 in the upper row, with a single corrugation 52 with a top corrugated portion 53 of the conducting member between the fuel cells. Also shown is the hollow unfilled volume 38 between the nickel foam material 51 and the outer electrodes 32 within the crown portion 40 of the conducting member 22, which functions along with open pore, nickel metal foam 51 as a flexible connector support.

The conducting member 22 also has bottom shoulder sections 42 connected to the top crowns 40 by corrugated crown sidewall 43, where the crowns and shoulder sections conform to the shape of their contacting tubular fuel cells, and each shoulder section 42 is connected to its adjacent shoulder section by conducting member 22. The

13

sections connecting the crown and shoulder are not straight, but have a single corrugation 53 giving sufficient rigidity for the handling of the bundle during assembly of the generator while at the same time sufficient flexibility to the structure to accommodate any dimensional changes in the bundle structure which might be caused by differential thermal expansion of the bundle and ceramic structures which connect to the bundle. Also, all of the outer interconnections 20 of the first row 14 of fuel cells, such as 17 and 19, face all of the outer electrodes of the second row 25 of fuel cells, such as 27 and 29. As shown, there are no metal felt connections between any fuel cells, but there is a complete substitution of an open pore nickel foam 51 which provides advantages of substantially lower cost relative to nickel felt and greater structural stability relative to nickel felt.

Fig. 5 more clearly shows the character of the single corrugated 52 connector support of the conducting member, with corrugated sections 43 between crown and shoulder and a top corrugated portion 53. As shown in Fig. 5, fuel cells are part of the rows of spaced apart, axially elongated tubular fuel cells (not shown here in any detail, for the sake of simplicity). All of the fuel cells comprise an inner self-supported air electrode 16, a solid electrolyte 18 (which is oxygen ion conductive at over 650°C), an outer fuel electrode 32 and an outer interconnection 20 as best shown in Fig. 4.

The conducting member, with single corrugation 52 and top corrugated portion 53 consists of a strong expanded mesh, preferably of nickel, which is over about 60% porous, preferably 65% to 80% porous, having a thickness between

14

0.025 cm (0.01 inch) and 0.076 cm (0.03 inch), preferably from 0.012 cm (0.005 inch) to 0.076 cm (0.03inch).

Material thickness which is substantially outside of the range of 0.012 cm through 0.076 cm becomes very difficult to corrugate to form crowns 40, crown corrugations 43 and shoulder portions 42. Under 0.012 cm, structural integrity suffers. The mesh is preferably at least 60 vol.% porous, so that fuel can pass easily outside the cells near the fuel electrodes 32, as well as to enable drying of a nickel particle-filled organic-based adhesive, not shown, which is used initially to bond the conducting member 22 to each row of the fuel cell, and the nickel foam 51 to the crown 40. The organic part of the adhesive, preferably an epoxy resin filled with about 40 wt.% to 80 wt.% fine nickel particles, is burned off (or vaporized) during subsequent heating/sintering step at about 1000°C to 1200°C, prior to or after the fuel cell bundle is placed in the generator, that is, such sintering can occur at generator startup. Epoxy resin volatiles, in particular, have been found to have no adverse effect on fuel cell properties.

The conducting member 22 along with single corrugation 52 has a spring-like effect and provides superior shock absorbing qualities, as compared to metal felts. Additionally, the member 22 is not affected by prolonged operation of twelve months or more at temperatures up to 1200°C and the metal foam 51 will not shrink or slump (that is, densify and decrease in thickness), as will metal felts. This unique quality of the metal foam is an important feature of the invention, since the prevention of shrinkage of the bundle eliminates the present tendency of

15

the cells to break fragile ceramic upper cell positioning boards.

Thus, this invention is a means of providing the necessary series and parallel electrical connections between tubular solid oxide fuel cells when the cells are assembled in bundles. The means of connection are thin expanded nickel/foam assemblies. Strips of nickel foam are bonded to the crowns. These foam strips substantially improve the post sinter bonding between the connector and the cell interconnections. The entire connector unit is referred to as a "foam-top screen." In this invention both series and parallel electrical connection of tubular solid oxide fuel cells within a bundle is accomplished by the use of the thin expanded nickel foam-top screens. In test assemblies the foam top screens have been 365 mm long. Four foam top screens are used at each junction to cover the length of the bundle. It is possible that a single screen of nominally 145 centimeters length would be used at each junction. Joining of the foam strips to the three crowns of the screen is by means of a nickel filled epoxy. Nickel filled epoxy is also used to join the six shoulders of the screen to the fuel electrodes of three cells, and to join the three foam strips to the nickel plated interconnection strips of three cells. The epoxy gives excellent pre-sintered strength to the bundle. Upon sintering at 1050°C the binders of the epoxy burn off leaving well-sintered high strength joints. The epoxy is applied as single bead along each of the three foam strips where contact with the interconnection is made. A bead is applied to each shoulder section of the screen. Two shoulders connect to each of the three fuel electrodes.

16

This invention embodies three important improvements relative to prior art. These are: (1) folds in the form of the screen that promotes flexibility in both series (eight cell) direction and parallel (three cell) direction. Flexibility connotes the ability of cells to move relative to other cells within the bundle without the application of substantial force. This attribute facilitates the engagement of ceramic structures that form fuel recirculation and exhaust plena at the open ends of the cells; (2) nickel foam tops which are bonded to the crowns of the screen and which substantially improve post sinter connector/interconnection bond strength and electrical conductivity; this improvement stems from a greatly increased number of points of connection to the interconnection plating that the use of a foam of fine reticulated structure provides; and (3) the inclusion of a ninth connector, which is reversed so that the foam tops connect to the fuel electrodes of an outer parallel connected group of three cells facilitates connections between bundle to adjacent bundle within a row of bundles, bundles to positive and negative power leads, and bundle row to bundle row.

Other benefits of this invention over current practice include: the total number of parts for a 24-cell bundle (including cells) is reduced from 440 to 168; manual assembly of a bundle using mesh takes less than half the time required for that of a bundle using felts; the mesh/metal foam bundle design is much more conducive to automation of the assembly process than is the felt bundle design; when automated, the mesh/metal foam bundle assembly will be accomplished in one-tenth the time presently

17

consumed in assembling a felt bundle; the cost of mesh, including raw materials and formation, is approximately one-tenth that of felts; and cell-to-cell electrical conductivity is higher with mesh than with felts.

Referring now to Fig. 7, bundle row to bundle row connections are shown where voids 70 between the top corrugated portion 53 of the single corrugation 52 of conducting members of the bottom row 72 of a top bundle 74 and the top row 76 of a bottom bundle 78 are filled with open cell nickel foam 51. Fig. 6 shows bundle to bundle connections where the top corrugated portion 53 of the single corrugation 52 of conducting members of the top row 80 of a top bundle 72' are connected to a top bundle to bundle current collector 82 having a top corrugated portion 53' to provide longitudinal voids 70' which are filled with open cell nickel foam 51. The top bundle to bundle current collector passes from top bundle 72' to an adjacent top bundle 72" over bundle separator insulation board 84. Continuous metal welds are shown at points 86. The top bundle to bundle current collector 82 is an inverted top screen. Thus voids 70 and 70' in Figs. 6 and 7 between screen conducting members are filled with sandwiched open cell nickel foam 51 which provides improved electrical conductivity. The inclusion of foam strips 51 reduces the voltage drop from bundle to bundle to approximately 25% of the value which pertains if the foam strips are not included.

Similarly, in Fig. 8, bus bar 90 has an attached inverted screen conducting member 82' which as in the other cases shown in Fig. 6, inversely matches the top corrugated portion 53 to provide longitudinal voids 70' filled with

18

open cell nickel foam 51. Thus in all bundle to bundle, bundle row to bundle row and power lead connections open cell nickel foam 51 will fill any longitudinal voids/openings 70, 70' between opposing top corrugated portions 53-53' as shown in Fig. 6, or 53-53' as shown in Fig. 7 or inset portions 88 into the bus bar 90. The inclusion of foam strips 51 reduces the voltage drop from bundle to bundle to approximately 25% of the value which pertains if the foam strips are not included.

Fig. 9 shows one type of idealized three dimensional representations of a useful nickel foam. One way to make, a metallic foam is by impregnating an open cell flexible organic foam material, such as polyurethane, with an aqueous metallic slurry - containing fine metallic particles such as nickel particles. The impregnated organic foam is compressed to expel excess slurry. The material is then dried and fired to burn out the organic materials and to sinter the metal/ceramic coating. A rigid foam is thereby formed having a plurality of interconnecting voids having substantially the same structural configurations as the organic foam which was the starting material. The structure is generally seen in Fig. 9 where an idealized cross section of one type of such foam 96 is shown with its interconnecting voids and tortuous pathways 97. It has low density, between 5 vol.% and 20 vol.% of the solid parent metal (that is, it is between 95 vol.% to 80 vol.% porous, and high strength, and has been found to be compliant. The term "compliant" or "compliance" is here meant as having an effective modulus of elasticity which is low enough to accommodate strain, without transferring substantial forces to the fuel cells which

19

could result in damage to the cells. It has a reticulated, three dimensional, network structure with high surface area to density and a high melting temperature over 1000°C (in pure form, usually between about 1435°C to about 1455°C).

Fig. 10 generally shows in block form the method of this invention where a first and second row of fuel cells are provided 100, where outer interconnections of the first row face all the outer electrodes of a second row; where a flat sheet of expanded nickel mesh is provided 102, followed by forming 106 the heated mesh into a corrugated structure with a series of top crowns between shoulder sections with a single corrugation between those sections; where an adhesive is coated 108 to cover the crowns and a strip of open cell metal nickel foam is placed 110 on the adhesive covering the crown and then adding 112 more adhesive on top of the foam and upon the shoulders of the mesh and then placing 114 the mesh and foam structure between the fuel cell rows; and drying 116 the adhesive and sintering 118 the fuel cell assembly.

EXAMPLE

Expanded nickel mesh, having diamond-shaped openings, about 65% porous and 0.05 cm (0.02 inch) thick, was placed in a roller die mold which gave the mesh a corrugated structure with a crown contour approximated to fit the contour of tubular solid oxide fuel cells to be made into a bundle similar to that shown in Figs. 4 and 5. Each corrugated mesh structure was coated at the crown with a bead of epoxy cement admixed with about 70 wt.% small nickel particles. A thin strip of nickel foam (0.6 cm wide x 0.17 cm thick x 36 cm long), having a reticulated structure and about 85 pores per lineal inch, sold

20

commercially by Inco under the model designation 200105031011 was placed on the bead of epoxy cement. Then another bead of similar epoxy cement was coated down the top length of the nickel foam strip and upon the shoulder of the mesh. The molded mesh and adhered nickel strips were then layered between rows of three fuel cells, to contact interconnections and fuel electrodes (as shown in Fig. 4), making columns eight fuel cells high. Hot air was blown through the spaces between the cells and into the spaces within the crowns of the mesh to dry the epoxy. The bundle was then placed in a sintering oven at 1100°C for two hours to vaporize the epoxy and form a nickel particle-to-mesh/nickel foam bond. Upon cooling, the bundle was tested and found to have excellent structural and electrical properties. Several bundles similar to that shown in Figure 4, but of 11 x 2 array, have been fabricated in the manner described by this invention and have demonstrated excellent electrochemical as well as excellent structural properties. The epoxy vaporization did not have any apparent adverse effect on electrical properties. The mesh/nickel foam combinations provided a strong, resilient conducting lamination member connecting and supporting the fuel cells.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A solid oxide fuel cell assembly (34) comprising rows of fuel cells, each having an outer interconnection (20) and an outer electrode (33), disposed next to each other with corrugated electrically conducting metal mesh between each row of cells, the corrugated mesh having a top crown portion (40) and a bottom shoulder portion (42), where a flexible open cell nickel foam (51) is disposed between and contacts both the crown portion and the outer interconnections of the fuel cells in a first row, and where the shoulder portion (42) of the mesh directly contacts the outer electrodes (32) of the fuel cells in a second row, said nickel foam and mesh electrically connecting each row of fuel cells, said mesh having a single corrugation (52) with a top portion between cells in a row and where there are no metal felt connections between any fuel cells.

2. A plurality of solid oxide fuel cell assemblies (34) of Claim 1, comprising a fuel cell bundle, each bundle comprising:

(1) a first row of spaced apart, axially elongated tubular fuel cells, each containing an outer electrode (32) and an outer interconnection (20);

(2) a second row of space apart, axially elongated tubular fuel cells, each containing an outer electrode (32) and an outer interconnection (20), the second row being spaced apart from the first row, where all the outer interconnections of the first row fuel cells face all the outer electrodes of the second row fuel cells; and

(3) an electrically conducting connector support for the fuel cells, extending between and contacting the

22

first row and the second row of fuel cells, where the connector support consists of an expanded mesh more than about 60% porous and having a thickness between 0.012 cm and 0.076 cm, said connector support having a corrugated structure with a series of top crowns (40) connected to bottom shoulder sections (42), where the shoulder sections conform to the shape of their contacting tubular fuel cells, where each shoulder section (42) is connected to its adjacent shoulder section (42), where a flexible open cell nickel foam (51) is disposed between and contacts both of the top crowns and the interconnections of the first row fuel cells, and all of the support shoulder sections directly contact the outer electrodes of the second row fuel cells, said mesh having a single corrugation (52) with a top portion between fuel cells in a row and where there are no metal felt connections between any fuel cells.

3. The solid oxide fuel assembly (34) of Claim 1, wherein the metal mesh is made of nickel.

4. The solid oxide fuel assembly (34) of Claim 1, wherein the metal mesh is from 65% to 85% porous, and have a spring-like effect providing low force transmission property to the fuel cells.

5. The solid oxide fuel assembly (34) of Claim 1, wherein the metal mesh is from 0.012 cm to 0.076 cm thick.

6. The solid oxide fuel assembly (34) of Claim 1, wherein the nickel foam (51) has a reticulated structure and from about 75 pores to 105 pores per lineal inch, wherein the metal mesh and nickel foam (51) will not shrink or slump during prolonged operation at temperatures up to 1200°C.

23

7. The fuel cell assemblies (34) of Claim 2, where each assembly comprises a fuel cell bundle including a bottom and top bundle, where, in the connection between each bundle, each bundle connector support contacts an adjacent bundle connector support, the single corrugation (52) in the adjacent mesh bundle connection as well as the top corrugated portions opposite each other form a void volume (70) which is filled with flexible open cell nickel foam, where the foam in the void volume (70) improves electrical connection from bundle to bundle.

8. The solid oxide fuel assemblies (34) of Claim 7, wherein the nickel foam (51) has a reticulated structure and from about 75 pores to 105 pores per lineal inch.

9. The solid oxide fuel assemblies (34) of Claim 7, wherein the connector support and attached nickel foam (51) will not shrink or slump during prolonged operation at temperatures of up to 1200°C.

10. A method of manufacturing a solid oxide fuel cell assembly, comprising the steps of:

(1) providing (100) a first and second row of spaced apart, axially elongated tubular fuel cells, the second row being spaced apart from the first row, each fuel cell containing an outer electrode and an outer interconnection, where all the outer interconnections of the first row fuel cells face all the outer electrodes of the second row fuel cells;

(2) providing (102) a flat sheet of expanded nickel mesh having a porosity over about 60% and a thickness between 0.012 cm and 0.076 cm;

(3) forming (106) the flat, expanded nickel mesh sheet into a corrugated structure with a series of top

24

crowns connected to the bottom shoulder sections where the mesh between shoulder sections has a single corrugation with a top portion to provide a flexible connector support, and where at least the shoulder sections will conform to the shape of the tubular fuel cells of the first and second rows of fuel cells;

(4) adding (108) an organic adhesive mixed with nickel powder to cover the crowns and shoulder portions of the corrugated nickel mesh connector support;

(5) disposing (110) a strip of flexible open cell nickel foam on top of the adhesive covering the crown of the connector support;

(6) adding (112) an organic adhesive mixed with nickel powder to the flexible open cell nickel foam strip;

(7) disposing (114) the corrugated connector support with its top nickel foam with adhesive on both the top of the foam and both shoulders between the first and second rows of fuel cells, such that all of the nickel foam strips on the top of the connector support top crowns contact and adhere to the interconnections of the first row fuel cells and all of the connector support shoulder sections contact and adhere to the outer electrodes of the second row fuel cells;

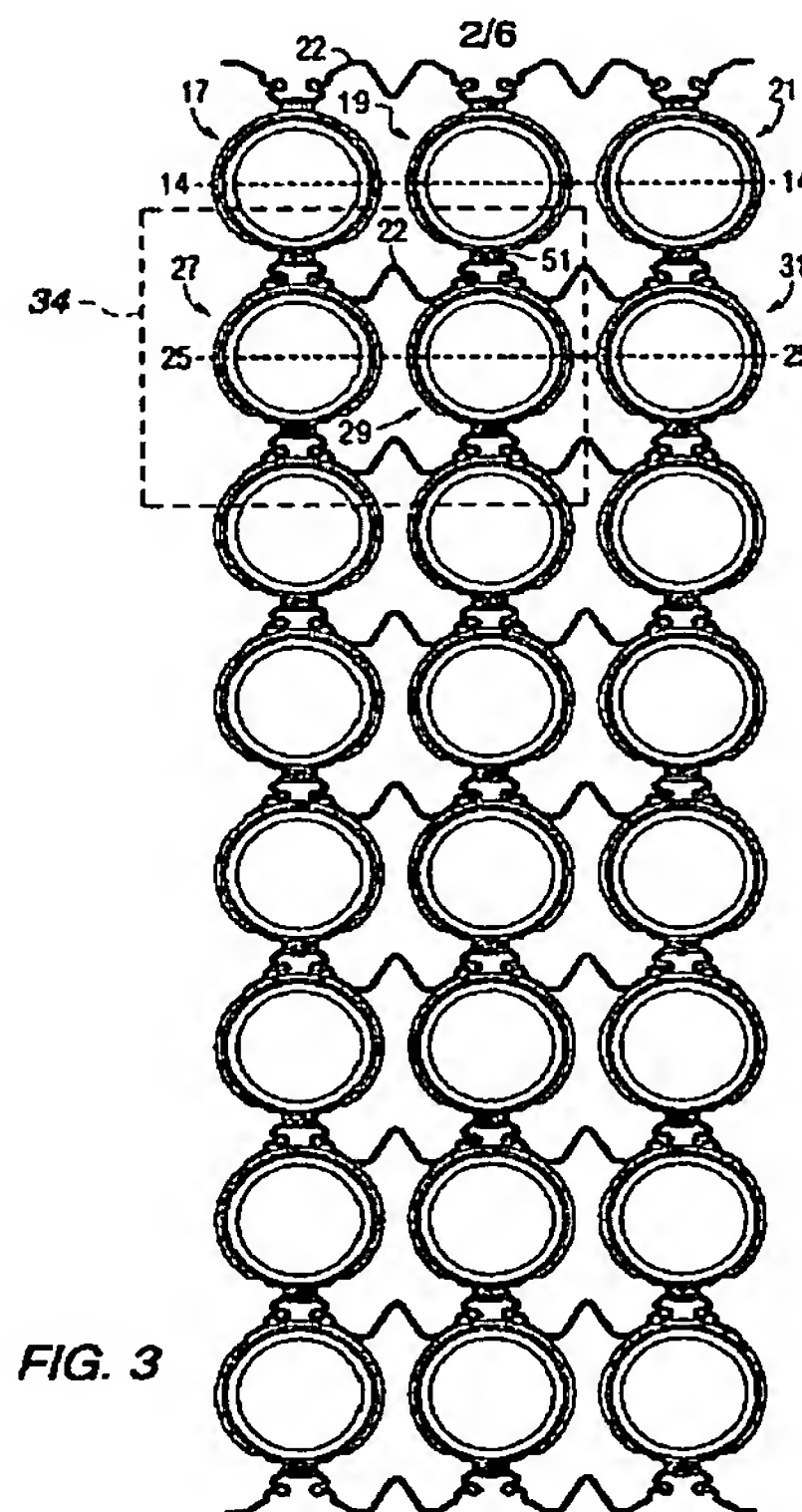
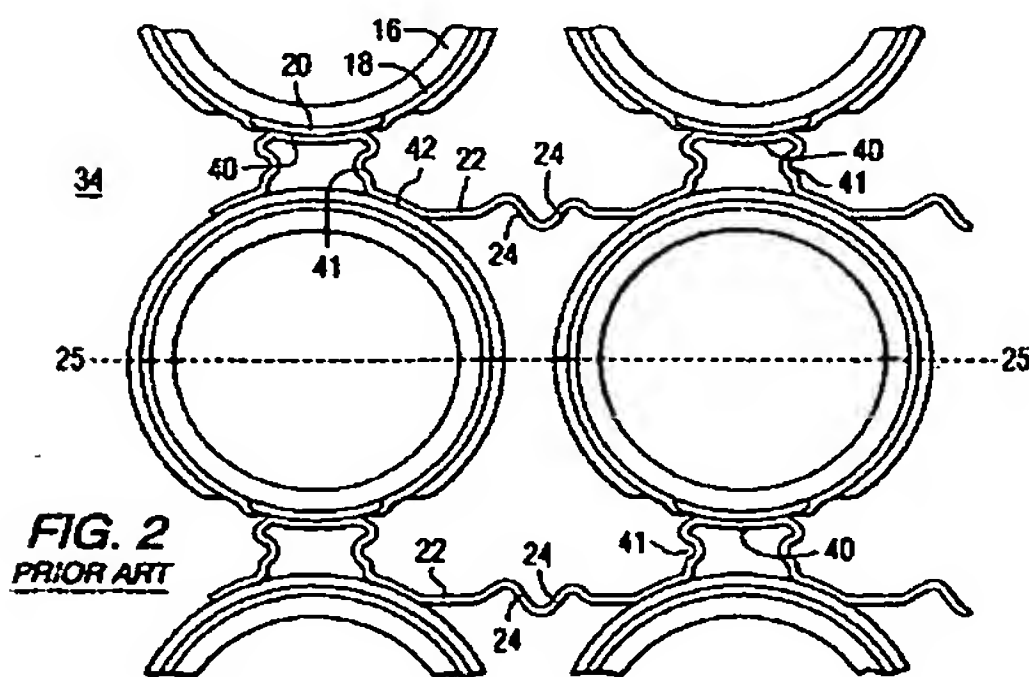
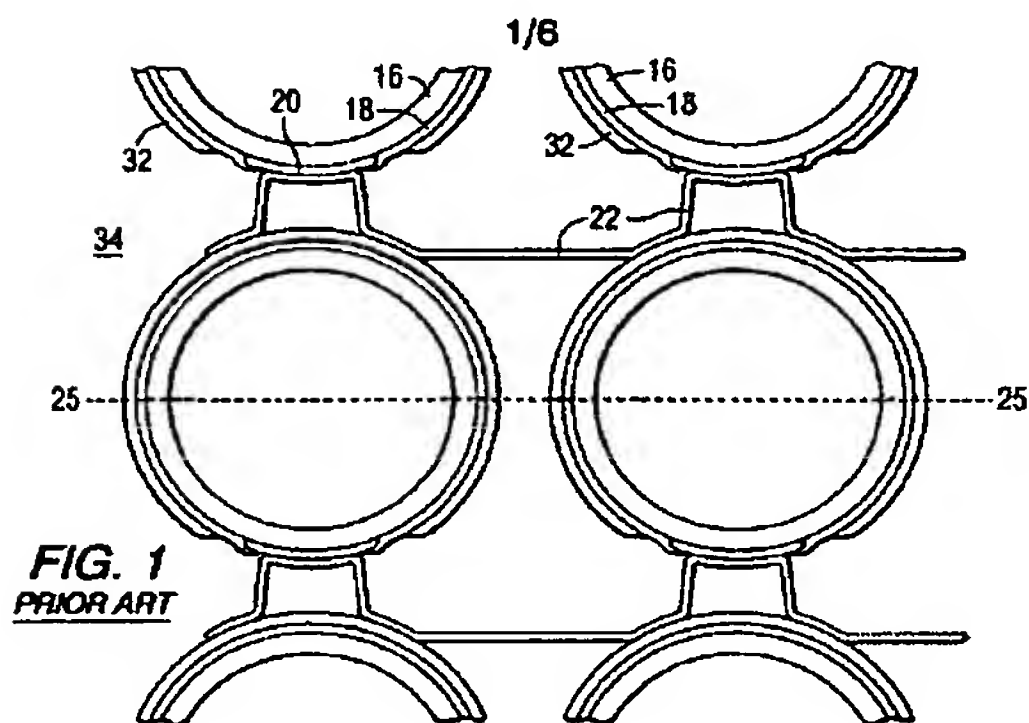
(8) drying (116) the adhesive by passing hot air through the porous connector support; and

(9) sintering (118) the fuel cell assembly to vaporize the organic portion of the adhesive and provide an integral fuel cell assembly.

25

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A solid oxide fuel assembly is made, wherein rows (14, 25) of fuel cells (17, 19, 21, 27, 29, 31), each having an outer interconnection (20) and an outer electrode (32), are disposed next to each other with corrugated, electrically conducting expanded metal mesh member (22) between each row of cells, the corrugated mesh (22) having top crown portions and bottom portions, where the top crown portion (40) have a top bonded open cell nickel foam (51) which contacts outer interconnections (20) of the fuel cells, said mesh and nickel foam electrically connecting each row of fuel cells, and where there are no more metal felt connections between any fuel cells.



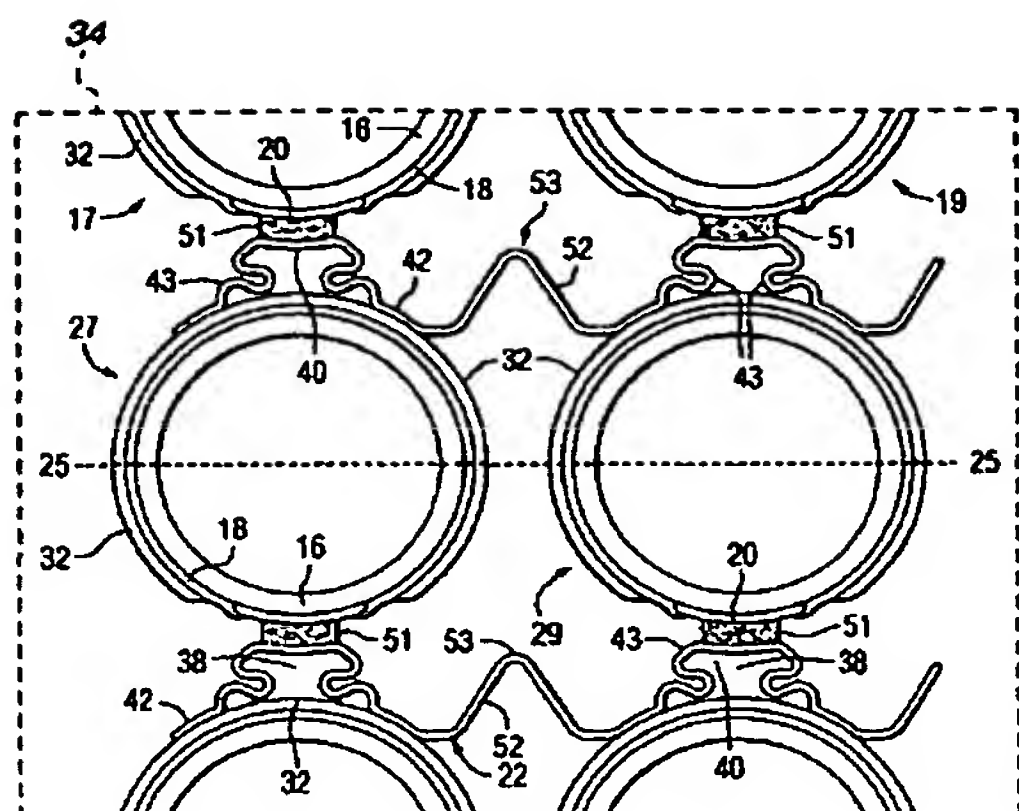


FIG. 4

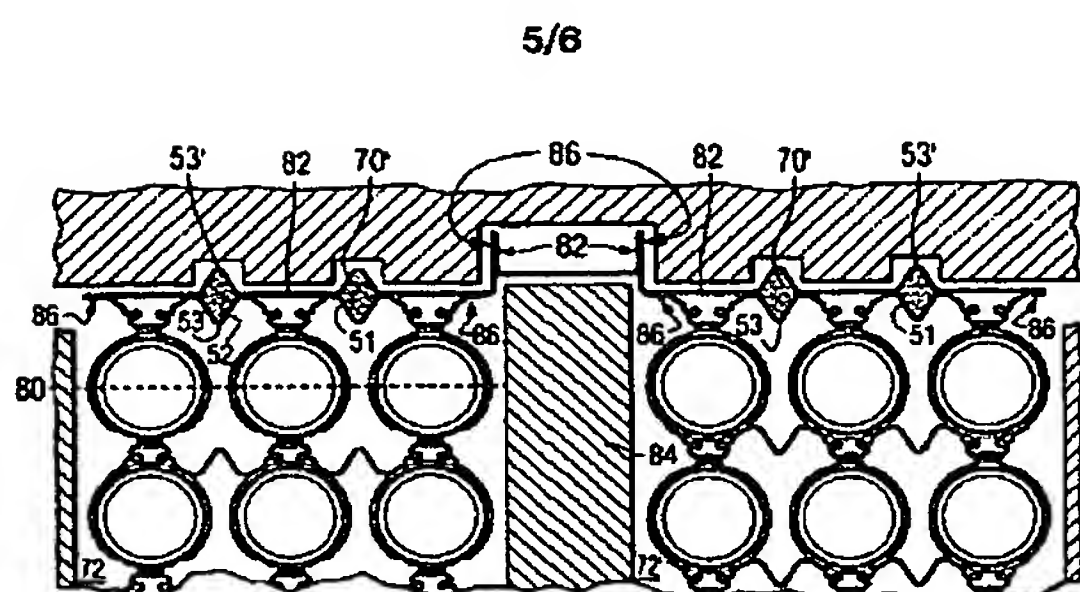
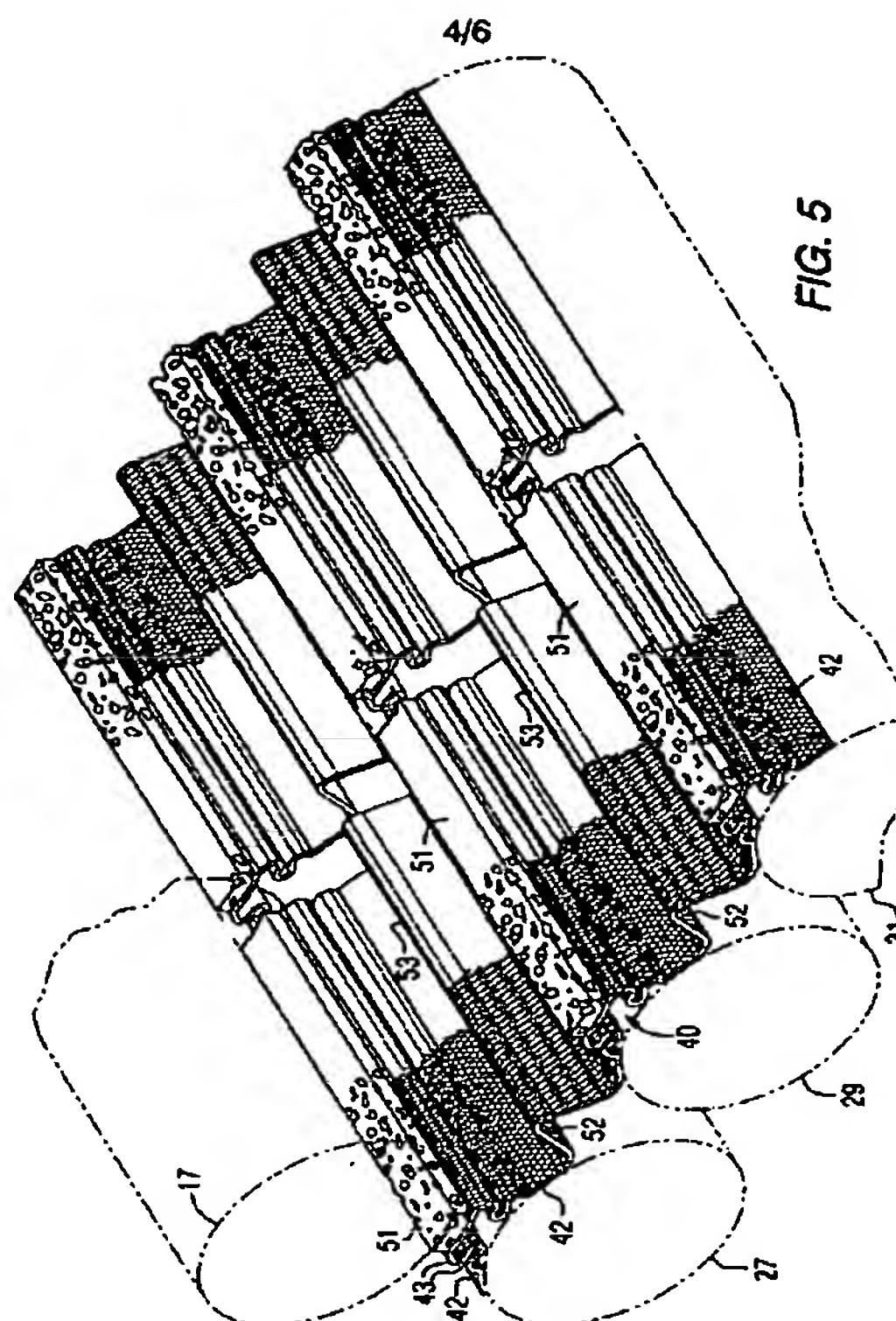


FIG. 6

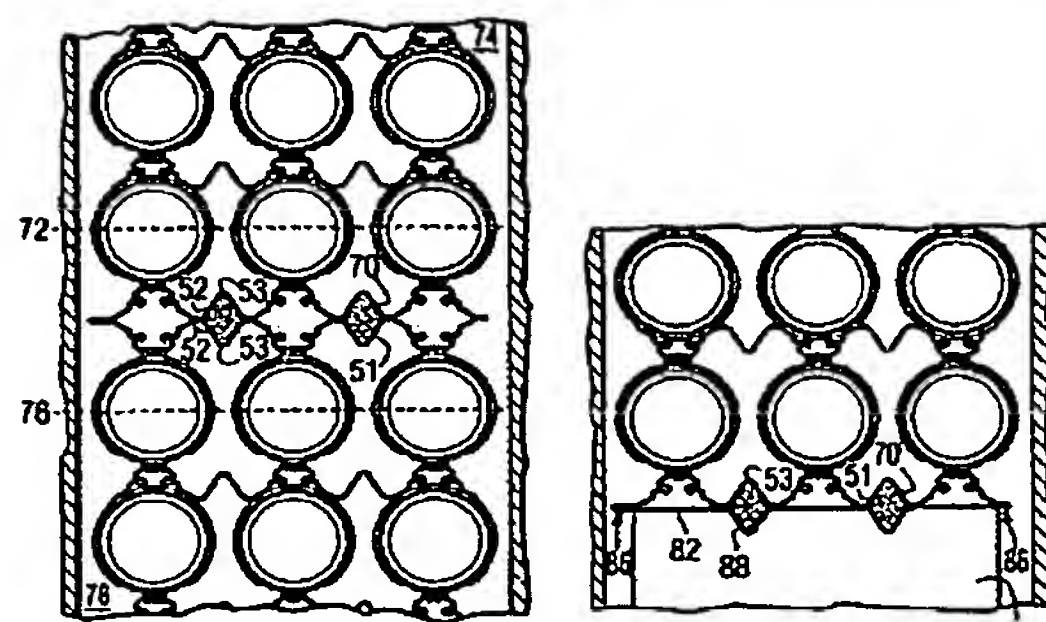


FIG. 7

FIG. 8

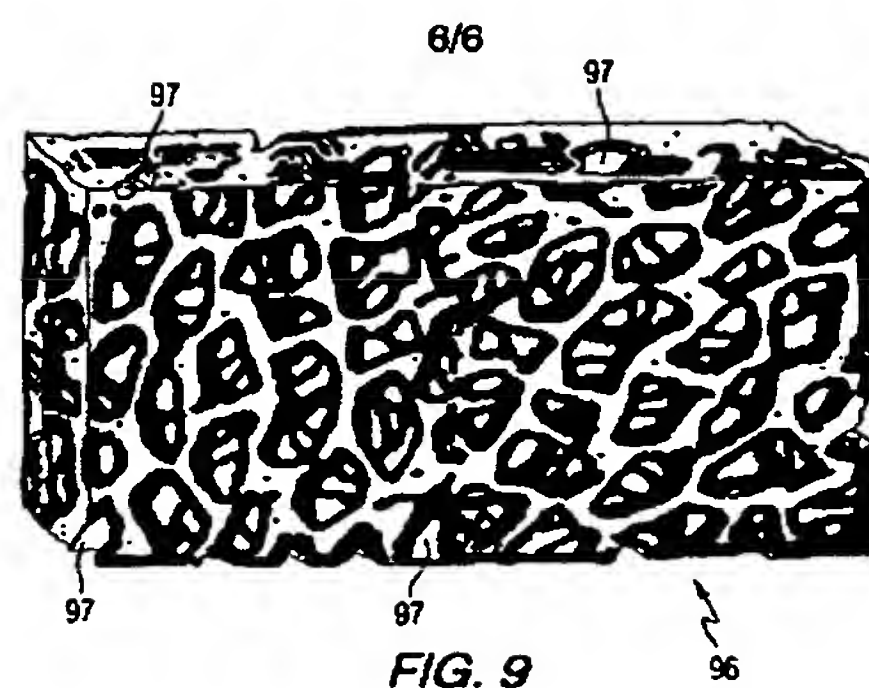


FIG. 9

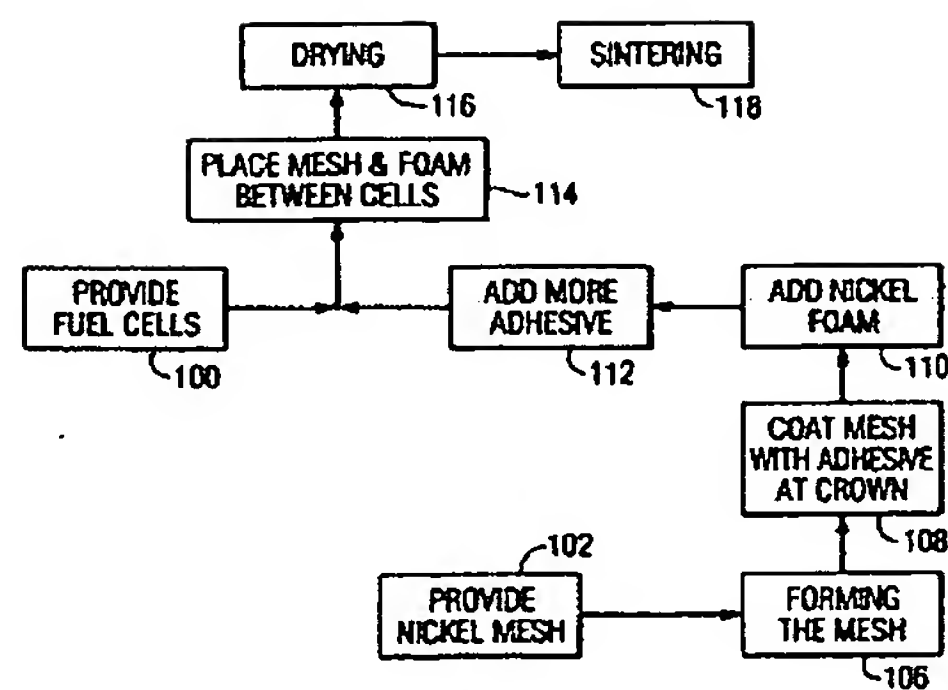


FIG. 10